

FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE  
SVEUČILIŠTA U ZAGREBU

**Studij:** Strojarsstvo, sveučilišni preddiplomski

**Sem.:** VI      **Šk.god:** 2008/2009

**Smjer:** Industrijsko inženjerstvo

**Usmjerenje:** -

i menadžment

ZAVRŠNI ZADATAK:  
**AUTOMATIZIRANI SKLADIŠNI  
SUSTAVI ZA KOMISIONIRANJE**

**Mentor:** [Dr.sc.](#) Goran Đukić

**Prezime i ime:** Obad Emil

**Matični broj:** 0035160136

Zagreb, veljača 2010.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:  
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo  
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **EMIL OBAD**

Mat. br.: 0035160143

Naslov: **AUTOMATIZIRANI SKLADIŠNI SUSTAVI ZA KOMISIONIRANJE**

Opis zadatka:

U izvedbama automatiziranih skladišnih sustava jedan od tipova je izvedba za komisioniranje unutar prolaza s čovjekom na automatskoj dizalici (eng. *person-on-board AS/RS*), kombinirajući sposobnost ostvarivanja visokog kapaciteta skladišnog sustava sa fleksibilnošću komisioniranja količina manjih od uskladištenih jedinica. Za projektiranje i optimizaciju takvih sustava neophodno je poznavati relevantne modele oblikovanja i metode određivanja kretanja dizalice u radu.

U radu je potrebno:

- dati osvrt na značaj logistike i skladištenja
- dati pregled automatiziranih skladišnih sustava (*AS/RS*), uz detaljniji prikaz izvedbi, komponenti, karakteristika i područja primjene automatiziranih skladišnih sustava za komisioniranje unutar prolaza
- prikazati modele oblikovanja automatiziranih skladišnih sustava, uz objašnjenje postupka oblikovanja automatiziranih skladišnih sustava za komisioniranje unutar prolaza
- pojasniti problem optimizacije kretanja dizalice u području regala prilikom ciklusa komisioniranja, te provesti analizu i usporedbu više metoda određivanja kretanja dizalice

Zadatak zadan:

11. prosinca 2009.

Zadatak zdao:

Doc.dr.sc. Goran Đukić

Rok predaje rada:

Prosinac 2010.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Dubravko Majetić

Referada za diplomske i završne ispite

Obrazac DS - 3B/PDS - 3B

## **IZJAVA**

Izjavljujem da sam ovaj rad radio samostalno koristeći vlastito znanje i literaturu.

Zahvaljujem se na pomoći mentoru Dr. sc. Goranu Đukiću.

## **SAŽETAK**

Skupio sam i predstavio različite proizvođače Automated Storage and Retrieval System (AS / RS) te za svaki primjer iz prakse odabrao drugačijeg proizvođača. Upoznao sam se sa različitim izvedbama automatiziranih skladišnih sustava (AS / RS) - sustave s dizalicama unutar prolaza (Unit-load, Mini-load, Micro-load i Person-on-board), te dinamičke sustave skladištenja (vertikalni karuseli, horizontalni karuseli i vertikalni podizni moduli). Osim samih prikaza i opisa, za poznavanje rada ovih sustava nužno je i poznavanje modela i metoda koji se koriste u oblikovanju, te su isti predstavljeni na kraju rada. Pri tome se provela jedna kraća analiza i usporedba metoda usmjeravanja dizalice, s ciljem uvida u razlike između optimalnog redoslijeda posjećivanja lokacije i redoslijeda posjećivanja lokacija primjenom band heuristike, te došao do određenih spoznaja.

# SADRŽAJ

## POPIS TABLICA I SLIKA

<b>1. UVOD</b>	6
<b>2. TEORIJSKE OSNOVE LOGISTIKE</b>	7
2.1. Uvod u logistiku	7
2.2. Mikrologistika	10
2.3. Strategija logistike	11
2.4. Gospodarski značaj logistike	12
<b>3. SKLADIŠTENJE</b>	14
3.1. Uvod u skladištenje u industriji	14
3.2. Zadaća skladišta u industriji	17
3.3. Materijal i jedinični tereti za skladištenje	18
3.4. Skladišni sustavi u industrijskim poduzećima	19
3.5. Skladišni sustavi u industrijskim poduzećima	20
<b>4. AUTOMATIZIRANI SKLADIŠNI SUSTAVI SA DIZALICOM UNUTAR PROLAZA</b>	25
4.1.1. Unit load	28
4.1.2. Mini-load AS/RS , Micro-load AS/RS	36
4.1.3. Person-on-board AS/RS	39
4.2. Dinamički sustavi skladištenja	43
<b>5. MODELI OBLIKOVANJA PERSON-ON-BOARD SUSTAVA</b>	52
<b>6. ANALIZA I USPOREDBA METODA ODREĐIVANJA KRETANJA DIZALICE</b>	55
6.1 Redoslijed posjećivanja po optimalnom rasporedu	55
6.2 Redoslijed posjećivanja primjenom bend heuristike	59
6.3 Usporedba i analiza dobivenih rezultata	62
<b>7. ZAKLJUČAK</b>	65
<b>8. LITERATURA</b>	66

## **POPIS SLIKA**

Slika 1. Suvremeni logistički centar

Slika 2. Unutrašnjost logističkog centra

Slika 3. Kretanje prihoda, rashoda i neto dobiti područja djelatnosti prijevoza, skladištenja i veza

Slika 4. Tipovi komisioniranja

Slika 5. Jednodimenzionalno komisiranje

Slika 6. Uređenje mjesta komisioniranja kod Karusel regala

Slika 7. Appleton Papers Inc- tvornica papira

Slika 8. Unutrašnjost novoga skladišta

Slika 9. Warehouse computer system

Slika 10. Unit-load AS/RS

Slika 11. Gibanja Unit-Load AS/RS

Slika 12. Single Wide Aisle /Single Deep Rack

Slika 13. Single Wide Aisle/Double Deep Rack

Slika 14. Double Wide Aisle/Double Deep Rack

Slika 15. Deep Lane with Flow Rack

Slika 16. Dizalica Model Magnus (TGW)

Slika 17. Unit-load S/R dizalica (Direct industry)

Slika 18. Fiksne pretovarne stanice

Slika 19. Pretovarne stanice s konvejerima

Slika 20. Unit-load (Daifuku)

Slika 21. Unit-load S/R dizalica (Daifuku)

Slika 22. Gibanja Mini-load

Slika 23. Mini-load ( Westfalia)

Slika 24. Ulazno/izlazna stanica Mini-load AS/RS

Slika 25. Person on board AS/RS

Slika 26. Person-on-board (komisioniranje – kutije)

Slika 27. Person-on-board (komisioniranje – palete)

Slika 28. Person-on-board (Viasprint)

Slika 29. S/R dizalica person-on-board (Viasprint)

Slika 30. Horizontalni karusel

Slika 31. Horizontalni karusel (Daimond Phoenix)

Slika 32. Tlocrt izvedbe sustava komisioniranja i sortiranja s primjenom horizontalnih karusela (Hat World)

Slika 33. Vertikalni karusel

Slika 34. Verikalni karuseli s više prozora

Slika 35. Vertikalni podizni modul (VLM)

Slika 36. VLM

Slika 37. AS/RS proizvođači

Slika 38. Band heuristika

Slika 39. Grafički prikaz rezultata

## **POPIS TABLICA**

TABLICA 1. Udio vrijednosti usluga u visokorazvijenih i tranzicijskih zemalja

TABLICA 2. Optimalni broj traka za zadani n

TABLICA 3. Rezultati – vremena vožnje ovosno o primjenjenom modelu (optimalno i bend heuristika)

## **1. UVOD**

Za završni rad preddiplomskog sudija dobio sam temu „Automatizirani skladišni sustavi za komisioniranje“. Kako bi se glavna tema završnog rada što bolje shvatila odlučio sam detaljnije objasniti pojmove logistika i skladištenje. U četvrtoj točki završnog rada dao sam pregled automatiziranih skladišnih sustava (AS/RS), uz detaljniji prikaz izvedbi, komponenti, karakteristika i područja primjene. Jedna od izvedbi automatiziranih skladišnih sustava je izvedba za komisioniranje unutar prolaza s čovjekom na automatskoj dizalici (eng. person-on-board). Za tu izvedbu prikazao sam metode oblikovanja i pojasnio problem i metode određivanja kretanja dizalice u području regala prilikom ciklusa komisioniranja. Kako kretanje dizalice u višestrukom ciklusu komisioniranja ovisi o primjenjenoj metodi usmjeravanja – određivanja redoslijeda posjećivanja lokacija, provedena je analiza i usporedba dvije u literaturi najčešće spominjane metode.



## **2. TEORIJSKE OSNOVE LOGISTIKE**

### **2.1 Uvod u logistiku**

Logistika je djelatnost koja se bavi svladavanjem prostora i vremena uz najmanje troškove. U suvremenim uvjetima se najčešće koristi za označavanje poslovne funkcije i znanstvene discipline koja se bavi koordinacijom svih kretanja materijala, proizvoda i robe u fizičkom, informacijskom i organizacijskom pogledu. Kružni proces od nabave preko proizvodnje i prodaje do potrošača.

#### **Etimologija pojmova**

francuski : logistique - izvedeno iz dočasničkog čina "*Marechal de logis*" čija je zadaća bila planirati sve administrativne poslove vezane uz pomak snaga u francuskoj vojsci u 17. stoljeću.

loger - stanovati, noćiti pod vedrim nebom, smjestiti se.

grčki : logos - znanost o principima i oblicima pravilnog mišljenja i prosuđivanja.

logistikos - vještine, iskustva i znanja o očuvanju, procjeni i prosudbi svih relevantnih elemenata u prostoru i vremenu potrebnih za optimalno rješavanje strateških i taktičkih zadataka u svim područjima ljudskih aktivnosti.

#### **Razvoj logistike**

17. stoljeće – Francuska – vojna doktrina, opskrba vojnih trupapotrebnim sredstvima, prijevoz dobara i vojske, osiguravanje prehrane i smještaj vojske.

Krajem 18. stoljeća – SAD - vojnička literatura u značaju pozadinske vojničke službe.

1844. Jules Dupuit, francuski inženjer, pružio je ideju zamjene transportnih troškova za troškove zaliha na primjeru izbora cestovnog ili pomorskog prijevoza robe.

Sredinom 20. stoljeća izraz iz vojnog ušao u gospodarsko – znanstveno područje.

1961. godine – prva knjiga iz područja poslovne logistike koja je orijentirana na fizičku distribuciju.

Smatra se da razvoj suvremene logistike započinje 1960- ih godina kada se nastoji boljim povezivanjem organizacijskih funkcija poduzeća smanjiti troškovi.

Druga polovica 20. stoljeća – logistika se afirmira kao znanost i gospodarska aktivnost u mnogo širem i suptilnijem značenju.

Čimbenici koji su utjecali na ubrzani razvoj: globalizacija i koncentracija gospodarskih aktivnosti, internacionalizacija proizvodnje i trgovine, ubrzani rast i razvoj znanstvenih spoznaja u svim znanstvenim područjima, implementacija načela ekonomije obujma, jačanje konkurencije, ubrzani razvoj i modernizacija prometne infrastrukture i transportnih tehnologija, razvoj i afirmacija robnotransportnih, robnotrgovinskih i logističkih centara, različitih terminala i slobodnih zona, povećanje kupovne moći stanovništva visokorazvijenih i srednje razvijenih zemalja, jačanje EU u globalnim razmjerima, ubrzani proces deregulacije, privatizacije i liberalizacije gospodarskih sektora i pojedinih gospodarskih djelatnosti i jačanje demokracije.

Logistika kao znanost predstavlja skup multidisciplinarnih i interdisciplinarnih znanja koja izučavaju i primjenjuju zakonitosti planiranja, organiziranja, upravljanja i kontroliranja tokova materijala, osoba, energije i informacija u sustavima. Nastoji naći metode optimizacije tih tokova s ciljem ostvarivanja ekonomskog efekta (profita).

Logistika kao poslovna funkcija - obuhvaća sve djelatnosti potrebne za kompleksnu pripremu i realizaciju prostrane i vremenske transformacije dobara i znanja. Nastoji uporabom ljudskih resursa i sredstava u sustavima staviti na raspolaganje tržištu tražena dobra u pravo vrijeme i na pravom mjestu u traženoj količini, kvaliteti i cijeni s točnim informacijama vezanim uz ta dobra. Naglasak je na minimalnim troškovima i optimizaciji

### **Logističke aktivnosti**

- Izvršavanje narudžbi
- Upravljanje zalihama
- Skladištenje
- Pakiranje
- Transport

Na Slici 1. prikazan je suvremeni logistički centar , dok je na Slici 2. prikazana unutrašnjost logističkog centra.



Slika 1. Suvremeni logistički centar



Slika 2. Unutrašnjost logističkog centra

## **2.2 Mikrologistika**

Mikrologistika se može promatrati kao jedna od poslovnih funkcija poduzeća. Ona se odnosi na fenomen kojima se žele ostvariti ciljevi poduzeća. U tom smislu svrha, ciljevi i zadaci mikrologistike proizlaze iz svrhe, ciljeva i zadataka poduzeća.

### **Svrha mikrologistike**

Svrha mikrologistike je optimalno opskrbljivanje poslovnog sustava predmetima rada, energijom i informacijama, te optimalno opskrbljivanje korisnika proizvoda u željenoj količini, kvaliteti, vremenu i mjestu. Mikrologistika je također bitna za stalno usavršavanje protoka dobara i informacija kroz sustav tako da se koordinacijom eliminiraju težnje za ostvarivanjem vlastitih parcijalnih ciljeva pojedinih podsustava i da se osigura optimalno postizanje ciljeva sustava u cijelini.

### **Ciljevi mikrologistike**

Osnovni ciljevi se dijele na savladavanje prostora i na savladavanje vremena. Također mikrologistika ima specifične ciljeve kao što su : snižavanje troškova logističkih procesa , poboljšanje kvalitete logističkih procesa (veća točnost ili manji broj škarta), pružanje dodatnih usluga za zadovoljstvo kupaca i u današnjem vremenu briga za zaštitu okoliša.

### **Savladavanje prostora**

Za savladavanje prostora potrebno je primijeniti četiri osnovnih načela: prvo načelo je skratiti putove skladištenja, unutarnjeg transporta i manipulacije. Da bismo to uspjeli u poduzeću trebamo približiti skladišne, proizvodne i ostale zone. Ovo načelo je bitno kada radimo potpuno novu organizaciju poduzeća. Drugo načelo je skratiti puteve između strojeva u procesu proizvodnje, to ćemo uspjeti tako da tehnološki proces izrade proizvoda projektiramo tako da slijede raspored strojeva ( ako je moguće) ili da rasporedimo strojeve u proizvodnoj zoni tako da slijede tehnološki proces izrade proizvoda ( isplativo na većim serijama proizvoda). Treće načelo glasi : kod manipulacije izbjegavati višestruki prekrcaj i križanje putova materijala. Ovo nam načelo govori o sigurnosti i povećanju brzine transporta, ako maknemo križanje puteva manja je mogućnost sudara i nezgoda te izbjegavamo čekanja transportnih sredstava na križanjima. Četvrto načelo glasi da koristimo treće dimenzije u slaganju i manipuliranju tereta.

## **Savladavanje vremena**

Na savladavanje vremena prvenstveno utječe brzina prijevoznih sredstava, ali i organizacija prijevoza. Pri tome je važno razlikovati brzinu vožnje (efektivna brzina kretanja prijevoznog sredstva) od komercijalne (putne) brzine (ukupna brzina koja uzima u obzir vrijeme u kretanju i mirovanju).

## **Dimenzije troškova**

Dimenzije troškova tj. što utječe na troškove: veličina prostora, jer što je veća površina prostora to su veći troškovi održavanja, grijanja i klimatizacija prostora. Ova stavka je jako bitna ako je prostor u najmu te se mjesečna ili godišnja najamnina obračunava po kvadraturi površine potrebnog prostora. Druga stavka u dimenziji je vrijeme u vanjskom transportu, trudimo se skratiti transportne puteve optimizacijom, s time dobivamo najkraći transportni put iz kojega prozlaži najkraće vrijeme u vanjskom transportu. Na sličan način skraćujemo vrijeme u unutrašnjem transportu. Na troškove utječe vrijeme zaliha i skladištenja. Moderni proizvodni koncepti (Lean Mengment, Just-in-time) žele izbaciti ili bar maksimalno smanjiti vrijeme zaliha i skladištenja i tako samnjiti ukupne troškove.

## **2.3 Strategija logistike**

Logistička strategija poduzeća ili organizacije je određivanje razina usluga na kojima logistička organizacija ima najviše dobiti (most cost effective). Budući da se opskrbeni lanci konstantno mijenjaju i evoluiraju, tvrtka može razviti niz logističkih strategija za određene linije proizvoda, određene zemlje ili specifične kupce.

Opskrbeni lanci (Supply chain) se stalno mijenjaju. Da bi prilagodili fleksibilnost opskrbnog lanca, tvrtke bi trebale razviti i provesti formalnu logističku strategiju. To će omogućiti tvrtki prepoznavanje utjecaja neposredne promjene s kojim će se napraviti organizacijske ili funkcionalne promjene kako bi se osiguralo razinu usluge (razina usluge nije smanjena).

Za stvaranje logističkih strategija potrebno je sagledati četiri razine logističkih organizacija:

Strateško: Pregledom ciljeva poduzeća i strateških odluka lanca opskrbe, logistička strategija treba pridonositi visokounosnim ciljevima tj. treba odabrati oni strategiju koja donosi najveću dobit (profit).

Strukturni: logistička strategija treba ispitati strukturna pitanja logističke organizacije, kao što je optimalan broj skladišta i distribucijskih centara ili ako se poduzeće bavi proizvodnjom gdje(u kojim proizvodnim pogonima), kada(koliko je zahtijevano vrijeme isporuke) i kako proizvoditi u traženoj količini.

Funkcionalna : Strategija treba pridonositi da svaka zasebna funkcionalna cijelina u poduzeću treba težiti izvrsnosti.

Implementacija : ključna za razvoj uspješne logističke strategije. Strategija treba biti provedena pravilno u cijeloj organizaciji. Plan za provedbu će uključivati razvoj ili konfiguracije informacijskog sustava, uvođenje novih politika i procedura te razvoj plana upravljanja promjenama. [1.]

## 2.4 Gospodarski značaj logistike

Logistika se u posljednjih dvadesetak godina razvila i afirmirala više nego prethodnih stotinjak godina. S obzirom na to, postaje važni čimbenik u gospodarstvu jedne države. Udio vrijednosti logističkih vrijednosti usluga u BDP-u visokorazvijenih država (npr. Njemačka, Francuske, SAD-a, Japana) se u posljednjih dvadesetak godina povećala za oko 10-50%.

Stupanj inteziteta razvoja logistike je različiti unutar pojedinih gospodarskih sektora. Sukladno tome, najjači intezitet se doživljava u tercijalnom sektoru. U TABLICI 1. su predstavljene su rezultati istraživanja.

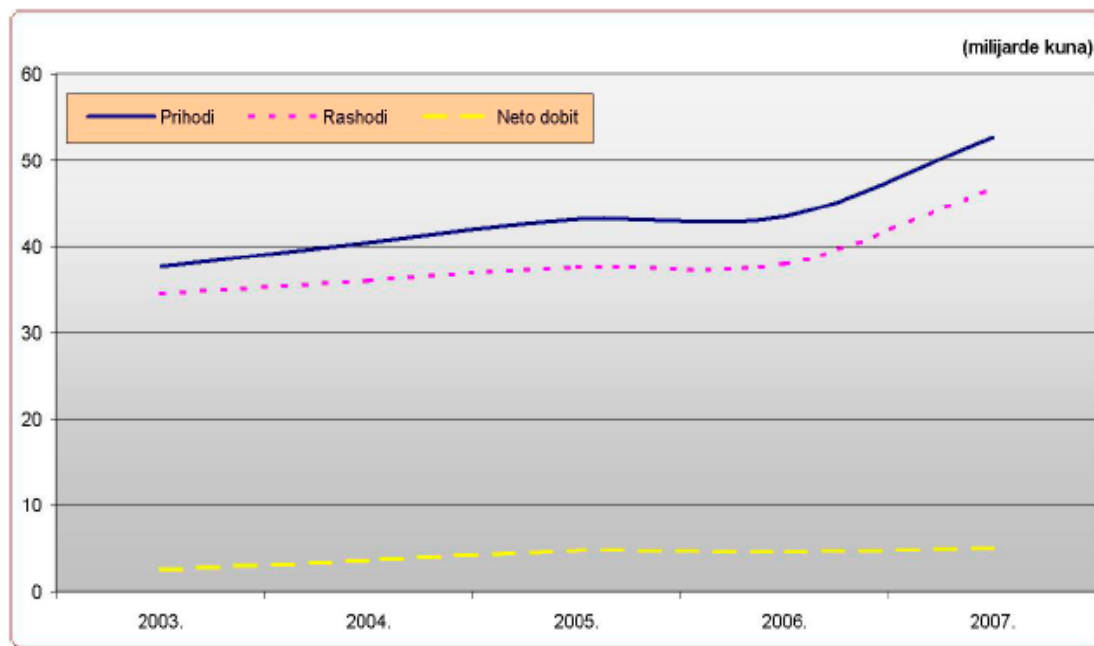
Udio vrijednosti usluga u visokorazvijenih i tranzicijskih zemalja		
Sektor	Prije 1980. godine	2000. godine
Primarni	10%	25% (<10%)*
Sekundarni	10%	30% (<10%)*
Tercijalni	20%	50% (10-20%)*
Kvartarni	15%	30% (10-20%)*

TABLICA 1. Udio vrijednosti usluga u visokorazvijenih i tranzicijskih zemalja

Napomena : (\*)U zagradi su brojevi koji se odnose na tranzicijske zemlje.

## Gospodarski značaj logistike u Hrvatskoj

U posljednjih pet godina poduzetnici koji su registrirani u području djelatnosti prijevoza, skladištenja i veza daju bitan doprinos ukupnim rezultatima poslovanja svih poduzetnika obveznika poreza na dobit Hrvatske. U svih pet godina uspješno su poslovali, jer su im prihodi nadmašivali rashode te su ostvarivali jednu od tri najveće neto dobit među poduzetnicima svih djelatnosti, u 2003., 2004. i 2005. najveću neto dobit od svih djelatnosti.



Slika 3. Kretanje prihoda, rashoda i neto dobiti područja djelatnosti prijevoza, skladištenja i veza

## Gospodarski značaj na razini poduzeća

Značaj logistike je u tome što su se poduzeća uvjerila da će se primjenom logističkih načela i metoda uvelike smanjiti troškovi, a u konačnici će za njih znači povećavanje profita.

Poslovana logistika ima poseban značaj jer je dio vremena i troškova procesa reprodukcija otpada na logističke aktivnosti.

Prema istraživanjima koja su vršena u Zapadnoj Europi udio logističkih troškova u ukupnim troškovima poslovanja u prosjeku iznosi 10-25%.

Važnost logistike potvrđuju i rezultati istraživanja obavljenoj u Velikoj Britaniji prema kojoj je 1980. godine potrošeno 39% BDP-a na logističke aktivnosti.

### **3. SKLADIŠTENJE**

#### **3.1 Uvod u skladištenje u industriji**

Svaki proizvodni proces u metaloprerađivačkim poduzećima kao polazište ima materijal, energiju, informaciju, prostor i vrijeme. Osnovne su aktivnosti s materijalom u procesu proizvodnje : obrada, transport, montaža, skladištenje, kontrola i odlaganje.

Proučavanjem i rješavanjem problema transporta, skladištenja i pakiranje sirovina, tvari, materijala i artefakta bavi se sudisciplina Rukovanje materijalom.

Glavni zadaci Rukovanja materijalom su spoznaje i rješenja za odlaganje, mirovanje i kretanje materijala u proizvodnim procesima. Te su spoznaje bitne pri projektiranju i konstruiranju sredstava (za obradu, transport, skladištenje, pakiranje). Za projektiranje proizvodnih sustava i procesa, za upravljanje, vođenje i organiziranje proizvodnje te logističku potporu proizvodnji.

Naziv skladište treba u prvom redu prisposobiti mjestu na kojem su pohranjene zalihe – novac u obliku robe. Ova prisposoba određuje jedno od bitnih polazišta za ispravan odnos prema skladištu, kao i pristup rješavanja problema skladištenja. Sa stajališta troškova poslovanja problem skladištenja je iznimno važan. Idealna su rješenja kada u ukupnim troškovima nema troškova skladišta pa je umjesno pitanje:

Kako stvarna rješenja opskrbe materijalom što više približiti teorijski najboljem rješenju: proizvodnji bez skladišta?

Činjenica je da u stvarnim procesima proizvodnje u metaloprerađivačkoj industriji gotovo nema materijala koji, planirano ili neplanirano, ne prođe faazu mirovanja – skladištenja ili bar privremenog odlaganja.

Može se zaključiti da se svako skladište i skladištenje povećava ukupne troškove poslovanja što je bitno za ispravan odnos prema skladištu.

Skladištenje materijala sa stajališta proizvodnje znači prekid procesa što je u pravilu nepovoljno ( produljuje ciklus proizvodnje ) . I ova je značajka važna za razumijevanje problema skladištenja u industriji.



Uz proizvodnju, u industrijskim poduzećima na troškove skladištenja velik utjecaj imaju i drugi dijelovi poduzeća, npr. konstrukcija, tehnologija, nabava, prodaja. Isto tako rješenja planiranja, upravljanja i vođenja procesa bitno djeluju na troškove skladištenja. S tim u svezi je utjecaj računalne potpore procesima te stupanj primjene ili zastupljenosti suvremenih koncepcija i spoznaja (kao što su npr. Lean Production, Just in Time, KANBAN, Make or Buy i druge).

Općenito razlozi za skladištenje materijala u industrijskom poduzeću mogu se prikazati na ovim primjerima:

a) skladište sirovina

- dugi rokovi nabave materijala, s obzirom na duljinu proizvodnog ciklusa
- dobavljačevo zakašnjenje isporuke
- povremeni nedostatak materijala na tržištu
- pojava škarta u proizvodnji
- promjene u planovima proizvodnje

b) skladište poluproizvoda

- odstupanja od proizvodnog plana
- zastoji u proizvodnji
- razlike u trajanju tehnoloških operacija i ciklusa proizvodnje pojedinih dijelova
- razlike u veličini serije
- rad u više smjena
- kvarovi strojeva
- razlike u kapacitetu pojedinih strojeva
- potrebe za većom iskoristivošću kapaciteta
- posebni zahtjevi tehnološkog procesa

c) skladište gotovih proizvoda

- otežana prodaja gotovih proizvoda
- kratki rokovi isporuke (uvjet tržišta)
- potrebna osiguranja doknadnih dijelova

d) skladištenje alata i naprava - rješavanje problema pravovremene opskrbe i zamjene u procesu istrošenih, slomljenih ili oštećenih alata i naprava

e) skladištenje dijelova za održavanje opreme - nužno je radi osiguravanja ispravnosti rada i strojeva.

**Analizom pojedinih razloga koji uvjetuju skladištenje materijala može se uočiti:**

- Skladištenje je posljedica stupnja razvoja, uvjeta, koncepcije i organizacije poslovanja, ali može se eliminirati djelomice ili u cijelosti promjenama u poslovnom procesu; određena poboljšanja su moguća i promjenama odnosa poduzeća s okruženjem (npr. osnivanjem većih skladišta koja će opskrbljivati više poduzeća).

- Skladišta su uvjetovana djelatnošću poduzeća ili potrebama proizvodnog procesa i nemogu se ukloniti

- Skladištenje je posljedica utjecaja okruženja poduzeća bez mogućnosti izravnog utjecaja

U dosadašnjem razvoju tehnike skladištenja mogu se uočiti tri etape:

1. Primjena klasičnih skladišta, s glavnom značajkom MINIMIZACIJE PROSTORA na najmanju ploštinu ili obujam odložiti najveću količinu materijala. Obilježja takvih skladišta su niski investicijski troškovi i visoki troškovi rukovanja materijalom.
2. Primjena automatiziranih skladišta, kod kojih je glavna značajka MINIMIZACIJA VREMENA POJEDINIH AKTIVNOSTI SKLADIŠTA ( ovdje je prisutna i glavna značajka klasičnih skladišta).
3. Primjena fleksibilno automatiziranih skladišta ima glavni kriterij optimizacije: MINIMIZACIJA UKUPNIH TROŠKOVA SKLADIŠTA I SKLADIŠTENJA. U ovoj etapi temeljni je princip

$$\text{TOK MATERIJALA} = \text{TOK KAPITALA} , [2.]$$

### **3.2 Zadaća skladišta u industriji**

Skladištenje u industrijskom poduzeću je mjesto uređeno i opremljeno za privremeno i sigurno odlaganje, čuvanje i pripremu te izdavanje materijala. Sažeto se može definirati da su skladištenje i distribucija materijala glavne tehničke funkcije skladišta.

Glavna zadaća skladišta je dinamičko uravnoteženje tokova materijala, količinski i prostorno, u svim fazama proizvodnog procesa. Ako je glavna svrha transporta u industriji ostvarivanje tokova materijala, tada je opskrba materijalom svih korisnika u poduzeću glavna svrha skladišta. Očito je da su zadaće transporta i skladištenja izravno povezane:

U poduzećima metaloprerađivačke industrije skladišta se pojavljuju kao:

- sustavi relativno neovisni o proizvodnom procesu (glavna skladišta)
- sustavi ovisni o proizvodnom procesu (skladišta i međuskladišta)

Skladištenje je planirana aktivnost kojem se materijal dovodi u stanje mirovanja. Skup svih aktivnosti s materijalom u skladištu predstavlja skladišni proces, a uobičajen naziv skladište podrazumijeva skladišni sustav.

Glavne komponente skladišnog sustava su:

- skladišni objekti (zgrade, uređene površine..)
- sredstva za skladištenje i sredstva za odlaganje materijala (sredstva za oblikovanje jediničnog tereta).
- transportna sredstva
- pomoćna skladišna oprema (računalna oprema, oprema za pakiranje, sredstva za paletizaciju i depaletizaciju, za kontrolu i mjerenje,..) te dodatna oprema (protupožarna, za grijanje i klimatizaciju, za rasvjetu, za održavanje čistoće, ...).

Skladišni proces najčešće podrazumijeva ove aktivnosti:

- istovar i preuzimanje materijala (i dokumenata)
- kontrola materijala( u fazi preuzimanja, za vrijeme čuvanja na skladištu, u fazi izdavanja)
- sortiranje, paletizacija (formiranje skladišnih jedinica) i depaletizacija

- transport i odlaganje materijala na skladištu
- čuvanje, zaštita i održavanje materijala
- komisioniranje
- otpis i inventura materijala
- upravljanje skladištem
- pakiranje
- izdavanje
- evidentiranje svih događaja i promjena u vezi s materijalom
- održavanje skladištne i transportne opreme
- usklađivanje zadaća skladišta sa zadaćama drugih procesa u poduzeću. [2.]

### **3.3 Materijal i jedinični tereti za skladištenje**

Osnovni subjekt i glavno polazište skladišnog sustava i skladišnog procesa je materijal za skladištenje.

U industrijskim poduzećima materijal se uglavnom dijeli na:

- sipki materijal,
- komadni materijal (najčešće je zastupljen u poduzećima metaloprerađivačke industrije),
- tekućine i plinove.

Komadni materijal može se odlagati u skladištu:

a) pojedinačno

- bez sredstava za oblikovanje jediničnih tereta - izravno na mjesto odlaganja,
- sa sredstvima za oblikovanje jediničnih tereta (npr. komad postavljen na paletu),

b ) skupno (više komada odjednom)

- bez posebnih sredstava,
- s posebnim sredstvima.

Jedan ili više komada postavljenih na posebna sredstva čine jedinični teret kojim se rukuje jednim zahvatom ili koji se odlaže na jedno mjesto. Uobičajena sredstva za oblikovanje jediničnih tereta su: ravna paleta, kutijaste palete, stalci, sanduci, ISO-kontejneri, itd. Jedinični tereti mogu biti određeni i na druge načine: snop cijevi, paket limova, itd. Za oblikovanje jediničnih tereta mogu se koristiti i posebna sredstva standardnih izmjera i kakvoće čija je namjena prvenstveno za odlaganje materijala: različite palete, sanduci, stalci, kutije, kasete, košare, itd.

Primjenom sredstava za oblikovanje jediničnih tereta pri skladištenju i odlaganju komadnog materijala humanizira se rukovanje materijalom, smanjuju se troškovi i omogućuje automatizacija tokova materijala u proizvodnim procesima. Glavna zamisao pri uvođenju jediničnih tereta je okrupnjivanje - povećanje količine materijala kojom se odjednom rukuje ili koja se skladišti na jednom mjestu, a kao glavne značajke ističu se izmjere i težina materijala. [2.]

### **3.4 Skladišni sustavi u industrijskim poduzećima**

U skladišnim sustavima postoje dvije razine: podna i regalna skladišta.

Podna skladišta – Glavna je značajka skladišnih sustava s podnim skladištenjem jest da nemaju regala za smještaj materijala.

Regalna skladišta – U industrijskim poduzećima komadni se materijal najčešće odlaže u regalna skladišta .

- a) Skladišta s poličnim i paletnim regalima – U polične regale materijal se odlaže izravno na policu, sa ili bez sredstva za oblikovanje jediničnih tereta (palete, sanduci,...). Kod paletnih regala, materijal ili jedinica skladištenja se odlaže uz primjenu posebne opreme( za oblikovanje jediničnog tereta) i obavezno pomoću transportnog sredstva ( najčešće viličara).

- b) Skladišta s konzolnim regalima – Konzolni regali primjenjuju se u industrijskim poduzećima za odlaganje, u otvorenim i zatvorenim prostorima, komadnog materijala s jednom ili dvije karakteristične izmjere, kao npr. šipke, cijevi, profili...
- c) Skladišta s prolaznim regalima – Kada se skladište veće količine istovrsnih materijala pomoću posebne opreme (paleta, sanduci,...)koriste se prolazni ili stupni regali. Ovi regali su jednostavne konstrukcije sastavljene od međusobno povezanih vertikalnih nosača stranica.
- d) Skladišta u protočnim regalima – Protočnim regalima ostvaruju se dinamičko skladištenje komadnog materijala, kao jediničnog tereta na paletama, u sanducima, kutijama ili odgovarajućoj ambalaži. Ta su skladišta pogodna za odlaganje istovrsnog komadnog materijala većih količina, a često se koriste i kao skladišta za komisioniranje.
- e) Skladištenje u visokim regalima – Racionalne korištenje raspoloživog prostora i smanjenje jediničnih troškova skladištenja u industrijskim poduzećima. Skladišta veća od 10 metara (danas do 50 m).
- f) Skladištenje u pokretnim regalima –Prijevozni regali ( kompaktni sustavi regala, pomični regali, šiber regali) koriste se za skladištenje komadnog materijala, osobito ako je manja učestalost ulaza-izlaza. Izvedba prijevoznih regala istovjetna je izradbi poličnih regala, a razlika je samo u tome što su prijevozni regali postavljeni na pokretna postolja.[2.]

### **3.5 Komisioniranje**

Komisioniranje je naziv za skup aktivnosti za pripremu materijala u skladištu, za raspodjelu i eventualnu otpremu kupcima.

S motrišta procesa i korisnika koji se otprema materijal, komisioniranje je najvažnija aktivnost u skladištu. Kod manjih skladišta ili u skladištima s većom učestalošću ulaza-izlaza materijala, komisioniranje je od najveće važnosti. Za svakog korisnika je važno da dobije određenu količinu materijala u određenom trenutku to podrazumijeva:

- pronalaženje mjesta na kojem je materijal uskladišten
- identifikaciju materijala

- prikupljanje materijala
- selekciju i sortiranje materijala
- oblikovanje jediničnog tereta za opremu i eventualni povrat jedinica za skladištenje na mjestu odlaganja
- pravovremeno odlaganje pripremljenog materijala na to posebno predviđenom prostoru (otpreme zone u samom skladištu ili posebna manja skladišta - skladišta za komisioniranje)
- izdavanje materijala (što ponekad može uključiti i otpremu materijala korisniku).

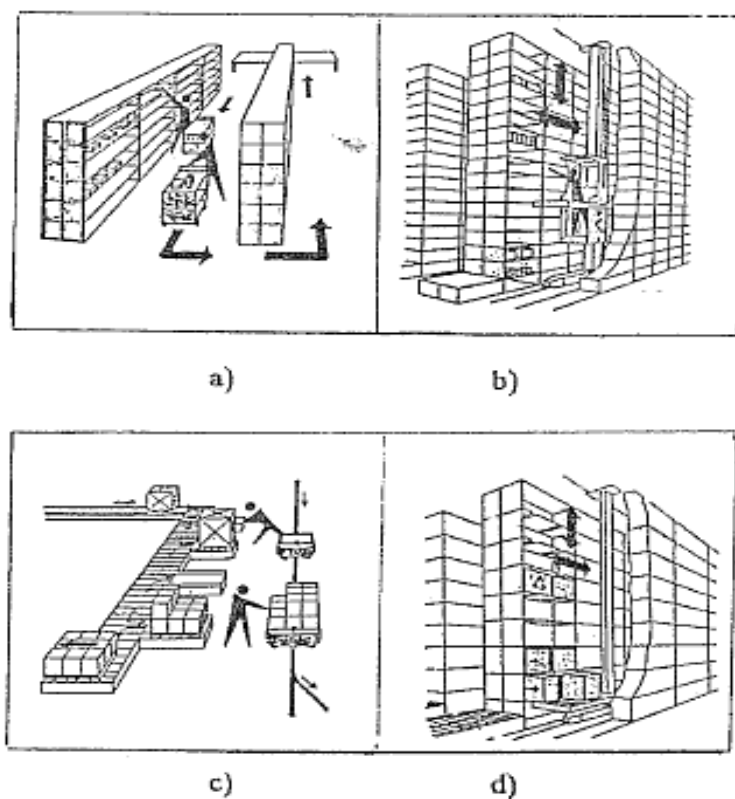
Glavni cilj komisioniranja da iz ukupne količine svih materijala na skladištu svim korisnicima propremi sve potrebne količine prema njihovu zahtjevu – narudžbi.

Rješenje komisioniranja ovisi o većom broju utjecajnih čimbenika:

- veličini poduzeća
- složenost, vrste i količine proizvoda
- vrste i veličine skladišta
- vrste, količine i frekvencije materijala
- stupanj automatizacije skladišta
- strategija odlaganja materijala na skladištu
- principi komisioniranja ( „čovjek-robi“, „ roba-čovjeku“)
- organizacija komisioniranja :
  - kompletiranje svake narudžbe posebno
  - kompletiranje jedne vrste materijala za sve narudžbe
  - kompletiranje u zoni skladištenja ili u zoni komisioniranja
  - centralizirano ili decentralizirano komisioniranje, tj. sve na jednom mjestu ili na više njih.

- vrsta i značajke transportnih sredstava
- vrste i značajke skladišne opreme
- složenost kretanja kod komisioniranja:
  - jedno- ili dvodimenzijonalno
  - prema redoslijedu narudžbi
  - prema duljini transportnih puteva
  - prema prioritetima, itd.

Na Slici 5. su prikazana rješenja ručnoga i automatiziranoga komisioniranja.



Slika 4. Tipovi komisioniranja

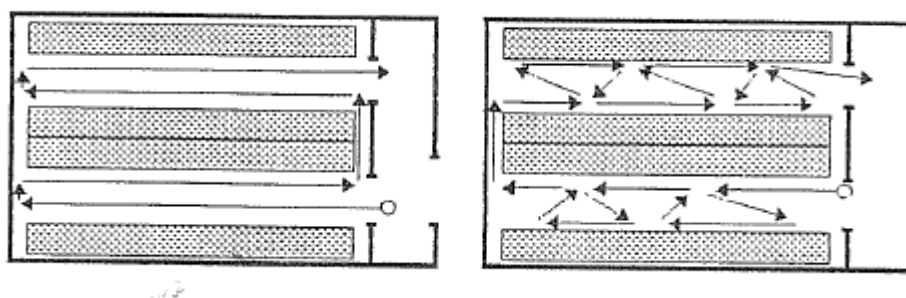
- a) ručno komisioniranje, jednodimenzionalno princip „čovjek-robi“
- b) ručno- mehanizirano komisioniranje, dvodimenzionalno princip „čovjek- robi“



- c) ručno-mehanizirano komisioniranje, jednodimenzionalno princip „roba-čobjeku“
- d) automatizirano komisioniranje, dvodimenzionalno

Kod jednodimenzionalnog komisioniranja, Slika 6. razlikujemo dva postupka:

- a) jednostrano ( jednosmjerno)
- b) dvostrano (povratno ili dvosmjerno)



Slika 5. Jednodimenzionalno komisioniranje

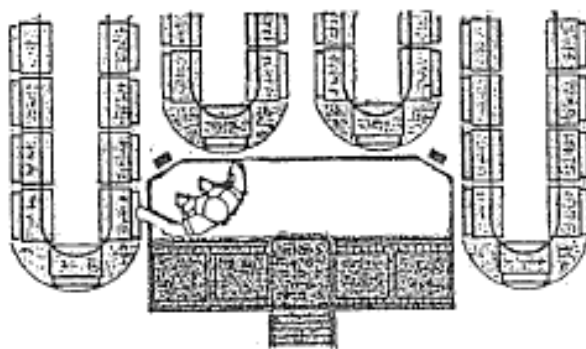
Učinkovitosti komisioniranja, osim u navedenim činjenicama, ovisi i o broju odredišta ili naručiteljima, o broju naloga za izdavanje materijala, broju stavki po nalogu, količini po stavci, volumenu i težini naručene količine, volumenu za komisioniranje i načinu komisioniranja i posebnim zahtjevima sortiranju narudžbi.

S obzirom na vrstu regala za učinkovitost komisioniranja orijentacijski se može računati s ovim podacima

- |  |                         |
|--|-------------------------|
| a) protočni regali – jednodimenzionalno komisioniranje | 35 do 80 pozicija/sat   |
| - dvodimenzionalno komisioniranje                      | 40 do 90 pozicija/sat   |
| b) paletni regali – jednodimenzionalno komisioniranje  | 35 do 50 pozicija/sat   |
| - dvodimenzionalno komisioniranje                      | 40 do 50 pozicija/sat   |
| c) protočni regali – klasični                          | 150 do 200 pozicija/sat |

- automatizirani	350 do 450 pozicija/sat
d) optočni regali	100 do 150 pozicija/sat
e) robotizirano komisioniranje	100 do 150 pozicija/sat
f) komisioniranje „šah“ automatima	5000 do 10000 pozicija/sat

Za pojedine vrste navedene su brojčane vrijednosti u širokom rasponu. Razlog tome su i drugi čimbenici od kojih zavisi učinkovitost, kao npr. raspored regala i uređaja mjesta za komisioniranje. Prikaz na slici 7. za Karusel regale.[2.]



Slika 6. Uređenje mjesta komisioniranja kod Karusel regala

#### **4. AUTOMATIZIRANI SKLADIŠNI SUSTAVI SA DIZALICOM UNUTAR PROLAZA**

##### **Opće pretpostavke**

Automatizirani skladišni sustavi (eng. Automated Storage and Retrieval System, AS/RS)(u daljnjem tekstu koristiti će se uvriježena kratica AS / RS) je pojam koji obuhvaća razne izvedbe opreme i kontrole računalnom upravljanoj automatiziranog odlaganja i izuzimanja iz skladišnih lokacija. Stupanj automatizacije definiran je porotokom, preciznošću i brzinom. Sustavi se razlikuju od relativno jednostavnih ručno upravljanih izuzimanja skladišnih lokacija (order-picking) koji se primjenjuju kod malih protoka pa do potpunosti automatiziranih sustava (computer-controlled storage/retrieval systems) kod velikih protoka, koji su integrirani u sami proces proizvodnje i/ili distribucije. AS/RS u užem smislu je sustav regala, svaki red ima svoju jedinicu za odlaganje/izuzimanje koja se kreće vertikalno ili horizontalno uzduž regala odlažući i izuzimajući terete, te se takve izvedbe nazivaju AS/RS s dizalicom unutar prolaza (eng. crane-in-aisle AS/RS) U novije vrijeme u AS/RS izvedbe ubrajaju se i automatizirane izvedbe horizontalnih karusela, vertikalnih karusela i vertikalni podizni moduli (eng. Vertical Lift Module, VLM).

Prednosti AS/RS su povećanje skladišnog prostora tj. veća gustoća pohrane materijala te bolja iskoristivost treće dimenzije odnosno visine u usporedbi sa kasičnim skladištima. Korištenjem AS/RS povećava se kontrola zaliha i praćenje zaliha; za svaki materijal u skladištu poznata je skladišna lokacija. Implementacijom AS/RS smanjuje se potreba ljudskog rada; ono što je prije radio čovjek sada bi radio stroj te se sa tim dobivaju velike ekonomske uštede. Izbacivanjem čovjekova rada (tj. nema ljudske pogreške) pridonosi se povećanoj točnosti operacija ( u literaturi se spominje do čak 99.9%) te povećanoj zaštiti pohranjenog materijala. Zaposlenici više ne manipuliraju materijalom te je smanjena mogućnost nezgoda odnosno povećana je sigurnost na radu.

Nedostaci su veliki investicijski troškovi npr. za visoko regalno skladište „Kraš“ koji može primiti 9360 paleta cijena ukupne investicije iznosi 50 mil. kuna ( 39 % od toga je AS/RS) Korištenjem AS/RS povećavaju se troškovi održavanja. Automated Storage and Retrieval System (AS / RS) je vrlo precizna oprema te se sa time povećavaju zahtjevi za tolerancijama ostalih segmenata u skladišnom procesu. AS/RS se radi za specifične zahtjeve i samim time je nefleksibilan.

### Primjer iz prakse :

Tvornica papira „*Appleton Papers Inc., Appleton, Wisconsin*“ iz S.A.D-a zbog opstanka na tržištu, povećane proizvodnje i nedostatka skladišnog prostora bila prisiljena modernizirati i unaprijediti tvornicu. Površinu poduzeća ograničavala je željeznička pruga i gradska ulica prikazane na Slici 8.



Slika 7. *Appleton Papers Inc*- tvornica papira

Za povećanje proizvodnje tvornica Appelton odlučila je nabaviti nove stroje za proizvodnju papira. Kompanija nije imala prostora da proširi svoj postojeći objekt za smještaj potrebne opreme. Uprava je odlučila dio skladišnog prostora namjeniti za novu opremu a ostatak skladišnog prostora modernizirati i unaprijediti uvođenjem Automated Storage and Retrieval System-a. Uvođenjem AS/RS-a u skladište se može pohraniti više od 1100 rola papira. [3.] Izgled novog skladišta prikazan je na (Slici 9.). Izbjegnuto je naslagivanje materijala te povećana zaštita papira. Skladištem upravlja računalo (warehouse computer system (WCS) koji omogućuje bolji uvid u trenutno stanje zaliha(Slika 10.). [3.]



Slika 8. Unutrašnjost novoga skladišta



Slika 9. Warehouse computer system



### 4.1.1 Unit load

Unit-load je naziv za automatizirano viskoregalno skladište. Glavna karakteristika ovog tipa AS/RS je da se sa svakim teretom rukuje pojedinačno. Unit-load je tip sustava automatiziranog odlaganja i izuzimanja za teže/veće terete (250 do 500 kg i više) smještene na paletama ili u plastičnim, drvenim ili metalnim sanducima paletnih dimenzija. Nekim velikim teretima može se također rukovati i bez sredstava za oblikovanje jediničnog tereta, npr. kolutovi limova, papira, kablova. Visine se kreću od 10 do 50 metara a duljine prolaza čak do 290 metara. Na Slici 11. je prikazan izgled Unit-load AS/RS.

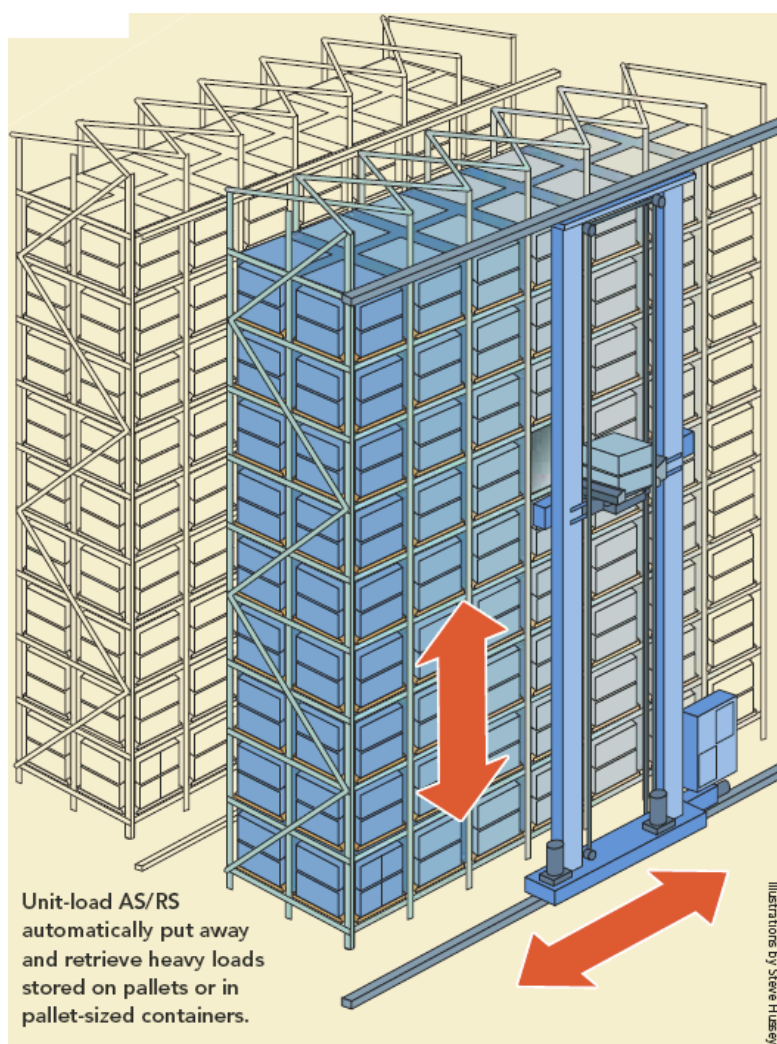


Slika 10. Unit-load AS/RS

Prednosti Unit-Load AS/RS: ušteda na površini, točnost i kontrola materijala na skladišta, velike brzne skladištenja/izuzimanja, povećana produktivnost, smanjenje škarta/štete, jednostavno rukovanje i održavanje i sigurnost zaposlenih.

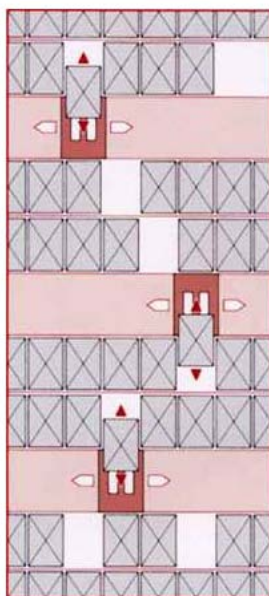
Poizvođač Daifuku nudi ove karakteristike za svoj proizvod (Unit-Load AS/RS): Dopušteni standardni teret :500-3000kg, Dizalica S/R visina od 3-26 metara, horizontalna brzina dizalice 63-250 m/min, vertikalna brzina dizalice 10-100 m/ min i dimenzije prihvatne stanice iznose od 850-2.600 mm x 850-2000 mm.

Na Slici 12. prikzana su horizontalna i vertikalna gibanja Unit-Load AS/RS.

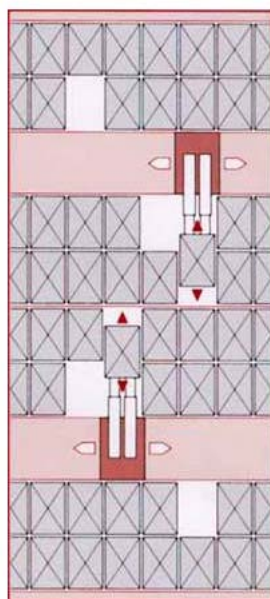


Slika 11. Gibanja Unit-Load AS/RS

Razvojem tehnologije razvili su se različiti tipovi Unit- load AS/RS za različne namjene a to su : Single Wide Aisle / Single Single Deep Rack (jednostruki prolaz/jednostruka dubina odlaganja) prikazana na Slici 13., Single Wide Aisle/Double Deep Rack (jednostruki prolaz/dvostruka dubina odlaganja) prikazana na Slici 14. , Double Wide Aisle/Double Deep Rack (dvostruki prolaz/dvostruka dubina odlaganja) Slika 15., Deep Lane with Flow Rack (gravitacijski ili s pogonom)Slika 16., Deep Lane with Shuttle Car (Satellite) i drugi tipovi.

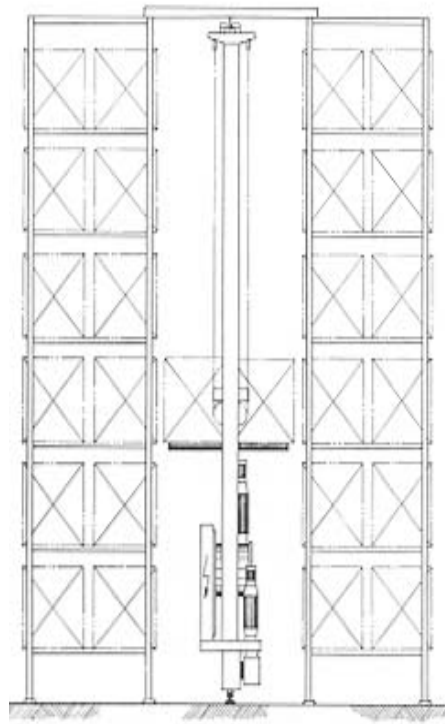


Slika 12. Single Wide Aisle /Single Deep Rack

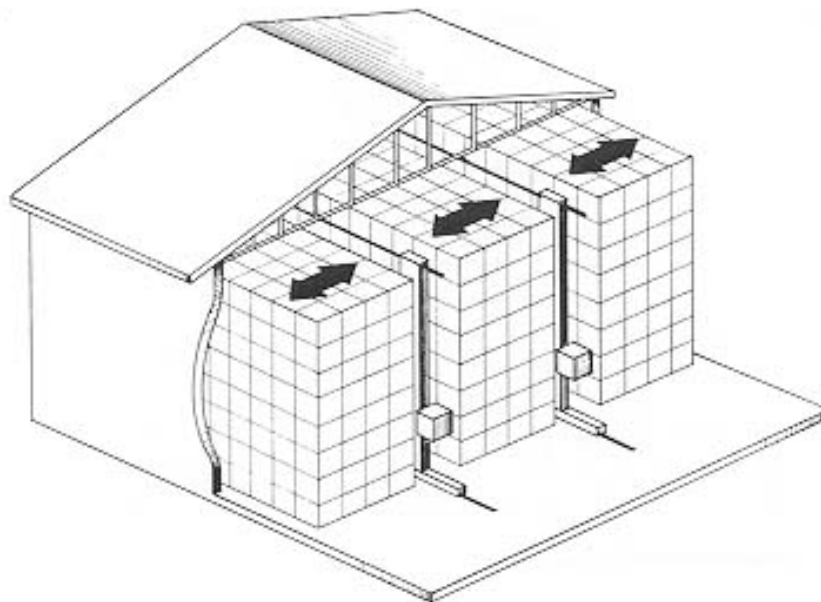


Slika 13. Single Wide Aisle/Double Deep Rack





Slika 14. Double Wide Aisle/Double Deep Rack



Slika 15. Deep Lane with Flow Rack

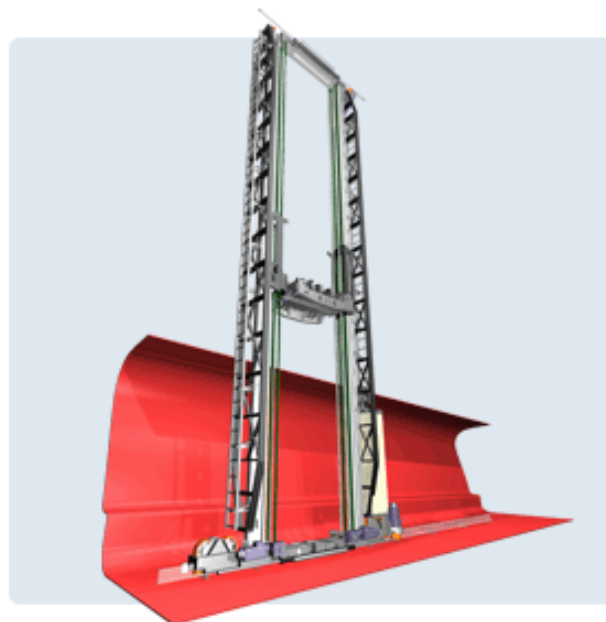
### Osnovne komponente Unit-load AS/RS su :

- dizalica (S/R machine, S/R crane)
- regali
- ulazno/izlazna mjesta (I/O, PD station)
- protupožarni sustav i ostale komponente

#### Dizalice (S/R machine, S/R crane)

Za pregled dizalica i njihovih karakteristika koristio sam internet stranicu od proizvođača „TGW mechanics“, pregled njihove izvedbe dizalice dano je u nastavku te prikaz na Slici 17.

Model Magnus je paletna dizalica napravljena od laganih materijala koji joj omogućuje impresivne brzine i ubrzavanja. Tehničke karakteristike su: maksimalno opterećenje 1250 kg, maksimalna visina 18 metara, maksimalna brzina 4 m/s, maksimalno ubrzanje  $2\text{ m/s}^2$ , maksimalna brzina podizanja 2 m/s, i maksimalno ubrzanje podizanja 2 m/s. [4.]



Slika 16. Dizalica Model Magnus (TGW)

Za bolju usporedbu dizalica i njihovih karakteristika pronašao sam internet izdanje kataloga proizvođača “*Direct industry*”. Njihova Unit- load dizalica ima ove karakteristike: maksimalno opterećenje 5000 kg, maksimalna visina 38.8 metara, maksimalna brzina 4 m/s, ostali parametri nisu navedeni. [5.] Izgled dizalice od proizvođača Direct industry prikazana je na Slici 18.

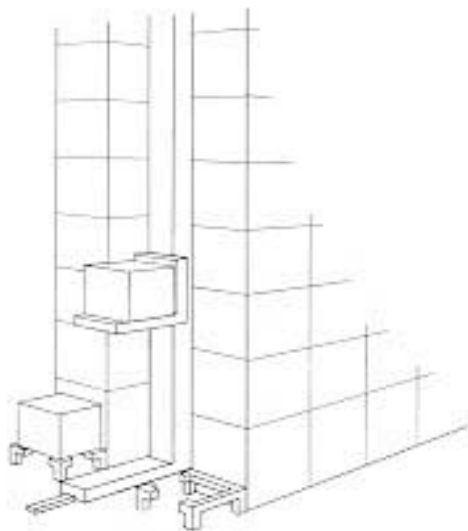


Slika 17. Unit-load S/R dizalica (Direct industry)

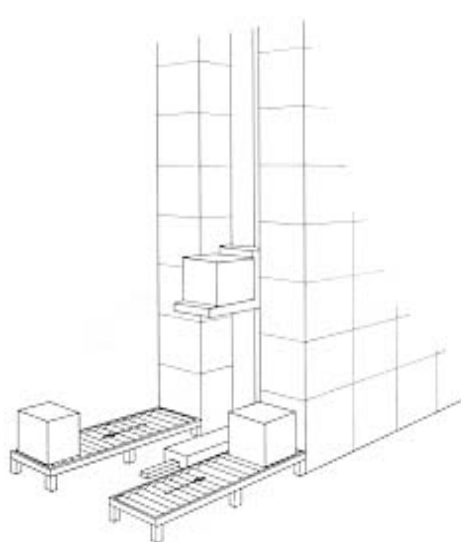
Razni proizvođači nude različite dizalice ovisno o specifičnim zahtjevima. Zahtjevi su protok iz kojih proizlaze zahtjevi za vertikalnim i horizontalnim brzinama, maksimalno opterećenje, dužina i visina skladišta te o financijskim mogućnostima investitora.

Brzine S/R dizalica (općenito) : horizontalna 1,8 – 4,4 m/s (2,5-3 m/s), Vertikalna 0,3 – 1,3 (0,6-0,75 m/s), Shuttle (prihvatna stanica) 7,5-12 s.

Ulazno/izlazna mjesta (I/O, PD station) su mjesta na kojim dolazi do pretovara tereta sa S/R dizalice u daljnju distribuciju ili proizvodnju. One mogu biti napravljene fiksno (Slika 19.) ili uz korištenje konvejera ( Slika 20.)



Slika 18. Fiksne pretovarne stanice



Slika 19. Pretovarne stanice s konvejerima

AS/RS primjena: tekstilna industrija, automobilska industrija, prehrambena industrija, elektronička industrija, maloprodaja, skladištenje kućanskih aparata...

Primjer iz prakse :

Distributer alkoholnih pića iz Salt Lake City-a, S.A.D zbog Olimpijskih igara 2002. godine je bio prisiljen zbog kvalitete, povećane potražnje i zadovoljstva kupaca povećati svoje skladište.

Zadaća je bila projekirati sustav koji će bez smetanja ostalih dijelova poduzeće i bez dodatnih radnika primiti, skladištiti i izuzimati 300000 do 350000 sanduka pića mjesečno.

Projektiranje, izgradnja i implementacija Unit-load skladišta povjerena je američkom proizvođaču „Daifuku“.

Na Slici 21. prikzano je (Unit-load) skladište za alkoholna pića u Salt Lake City-u, S.A.D a na Slici 22. prikzana je instalirana Unit- load S/R dizalica.



Slika 20. Unit-load (Daifuku)

Proizvođač Daifuku napravio je regalno skladište u kojem stane 6160 paletnih skladišnih lokacija. Unit-load AS/RS skladište napravljeno tako da ima pet prolaza (pet dizalica) visine preko 30.5 metara. Za dovoz i odvoz materijala napravljeno je 200 metara konvejera. Skladištem upravlja računalo.

Prednosti dobivene instalacijom Unit-load sistema su: povećanje kapaciteta bez zapošljavanja dodatnih radnika, smanjeni zastoji u postojećem objektu, povećana sigurnost radnih mjesta, nije bilo omatanja ostalih procesa u poduzeću i mogućnost laganog proširenja.



Slika 21. Unit-load S/R dizalica (Daifuku)

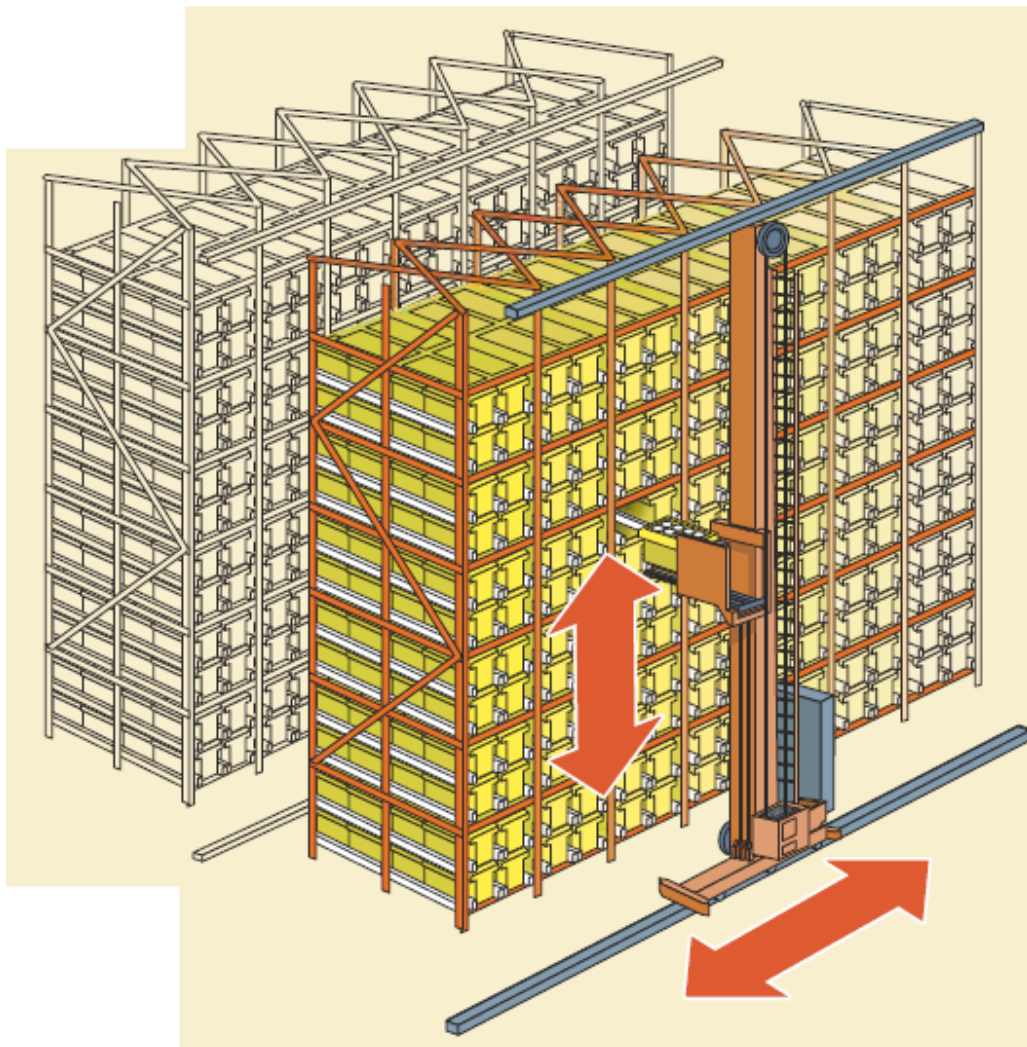


#### 4.1.2 Mini-load AS/RS , Micro-load AS/RS

Mini-load AS/RS: Tip sustava automatiziranog odlaganja i izuzimanja za terete koji su obično u malim spremnicima (kutijama), s ukupnom težinom između 50 i 250 kg (rijetko do 500 kg). Micro-load AS/RS: Tip sustava automatiziranog odlaganja i izuzimanja za male proizvode u vrlo malim spremnicima, (kutijama ili ladicama) s ukupnom težinom manjom od 50 kg.

Mini-load se pojavljuje u mnogo oblika i karakteristika. Princip rada je sličan Unit-loadu ; razlika je u tome što Unit-load ima okretnu stanicu (shuttle) koja skladišti / izuzima dok Mini-load posjeduje robotsku ruku ili ekstraktore koji povlače kutije s materijalom.

Na Slici 23. prikzana su horizontalna i vertikalna gibanja Mini-Load AS/RS.



Slika 22. Gibanja Mini-load

Mini –Load omogućuje veliku uštedu prostora, čuvanje materijala, povećana produktivnost i protok, zbog svoje brzine omogućava bolje usklađivanje kapaciteta s ostalim dijelovima poduzeća, samnjuje operativne troškove, manja mogućnost pogreške, tihi način rada i jednostavno rukovođenje.

Primjer iz prakse:

Poduzeće „Polar“ je vodeći svjetski proizvođač visokokvalitetnih strojeva za rezanje papira. Tvrka je planirala napraviti novo centralno skladište za rezervne dijelove u Hofheim-u u Njemačkoj. Poduzeća proizvodi 20000 različitih dijelova. Poduzeće „Westfalia“ je projektirala, napravila i instalirala tro-bazni Mini-load sustav koji može skladištiti/izuzimati 20000 različitih rezervnih dijelova skladištenih na 3345 poličnih pozicija. Slika 24. predstavlja novo skladište poduzeća Polar ( sa instaliranim Mini-load sustavom).



Slika 23. Mini-load ( Westfalia)

Mini-load sustav napravljen je od dva skladišna bloka. Svaki blok ima 41 razinu i 41 skladišni kanal. Sustavom upravlja računalo Warehouse Management Software (WMS). Prednosti instalacije Mini-load sustava su: 40% povećanje kapaciteta skladištenja u usporedbi sa klasičnim skladištima, volumska količina isporuke se utostručila dok su se logistički troškovi smanjili (150 isporuka dnevno), velike ekonomske uštede zbog smanjivanja ljudskog rada i povećana produktivnost. Posebna pozornost posvećena je ekologiji jer zbog velike gustoće skladištenja materijala potrebno je manje skladište (tj. manja površina) te sa samim time smanjen negativan utjecaj na okolinu. [6.] Na Slici 25. prikazana je ulazna/izlazna stanica Mini-load sustava.



Slika 24. Ulazno/izlazna stanica Mini-load AS/RS



### 4.1.3. Person-on-board AS/RS

Person-on-board je (polu)automatizirani sustav odlaganja i izuzimanja, s čovjekom na dizalici za ručno uskladištenje i izuzimanje unutar prolaza između visokih poličnih i paletnih regala. Osnovna karakteristika i prednost ovoga tipa AS/RS je mogućnost komisioniranja (izuzimanje materijala manje od paletnih jedinica), te se zbog toga ubrajaju i u izvedbe sustava komisioniranja po principu “čovjek robi”. Na slici 26. prikazan je primjer izvedbe person-on- board AS/RS sustava.

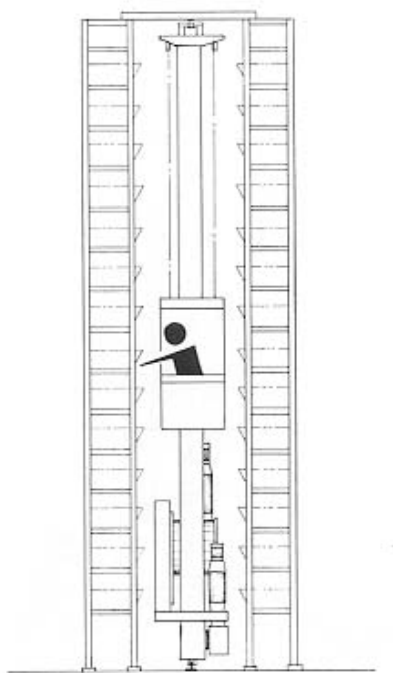
Princip rada: računalo po nalogu upravlja kretanjem dizalice (kabine) do paletne jedinice ili police, operater izuzme količinu materijala/robe koji mu je na prikazan na ekranu, kad izume materijal pritisne potvrdu, te ga dizalica navođena računalom odveze do sljedeće lokacije. Nakon što prikupi sav potreban materijal za jednu narudžbu ili ako ispuni maksimalan kapacitet (volumski ili težinski) kabina se vraća na ulazno/izlazno mjesto – pretovarnu stanicu (eng Pick-up/Delivery, P&D).



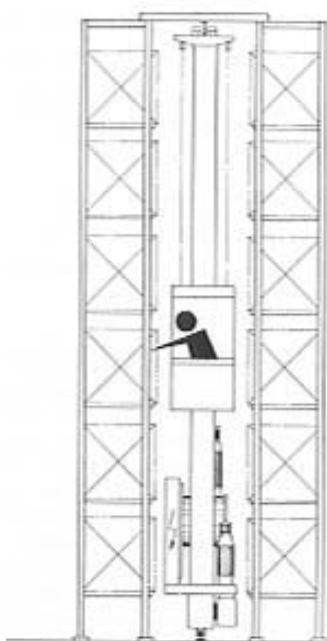
Slika 25. Person on board AS/RS

Komisioniranje se može obavljati iz kabine tako da čovjek uzima pojedinačno materijal sa polica ili kutija, ili da sa vilicama izvuče cijelu paletnu jedinicu i onda nastupi komisioniranje.

Na Slici 27. shematski je prikazano komisioniranje iz kutija, dok je na Slici 28 . prikazano komisioniranje sa paletnih jedinica.



Slika 26. Person-on-board (komisioniranje – kutije)



Slika 27. Person-on-board (komisioniranje – palete)

Različiti proizvođači imaju različite nazive i izvedbe Person-on-board AS/RS -a. Neki od naziva su: man-on-board AS/RS, person-aboard AS/RS, man-to-goods AS/RS ...

Za ralik od Unit-loda AS/RS, Mini-load AS/RS i Micro-loada AS/RS, sudeći po na internetu pronađenih primjera, proizvođači rjeđe projektiraju i instaliraju Person-on-board AS/RS. Detaljnijim pregledom interneta pronašao sam izvdbu Person-on-board AS/RS od njemačkog proizvođača „*Viastore system*“.

S modelom *Viasprint* (person-on-board) ručno komisioniranje postaje efikasnije. S/R stroj je flefksibilan te se može prilagoditi za rad na poličnim, paltenim i protočnim (flow-through) skladišnim regalima. Brzo i precizno prevozi osoblje do tražene lokacije. Model Viasore se može naručiti s različitom opremom za manipuliranjem materijala. Kabina za radnika se može opremiti s različitim komponentama ovisno o materijalu koji se komisionira te o načinu tj. metodi komisioniranja. Kabina je opremljena radio vezom (radio frequency RF) ili zaslonom ( multi-pick display). Viasprint snižava operativne troškove te povećava produktivnost. [7.] Na Slici 29.prikazan je model Viasprint.



Slika 28. Person-on-board (Viasprint)



Sve Viastorove S/R dizalice napravljene su od standardnih komponenti za specifičnu namjenu. Pažnja je posvećena pouzdanosti, performansama i dugom radnom vijeku. Primjena standardnih asinkronih (AC) motora omogućuje niske troškove održavanja i lagno i precizno pozicioniranje.

Viasprint ima ove karakteristike: maksimalno opterećenje do 1250 kg, visina do 20 metara, minimalna širina prolaza 1050 mm, horizontalna brzina 2 m/s, vertikalna brzina 0.67 m/s. Dodatne mogućnosti(ovisno o primjeni): stol od nehrđajućeg čelika, fiksne vilice, rotirajuće vilice, teleskopske (shuttle) vilice...

Na slici 30. prikazan je izgled S/R dizalice (person-on-board).



Slika 29. S/R dizalica person-on-board (Viasprint)

## 4.2. Dinamički sustavi skladištenja

Dinamički sustavi skladištenja dijele se na Horizontalni karusele, Vertikalni karusele i verikalne podizne module (VLM)

### Horizontalni karuseli

Horizontalni karusel (optočni/okretni regal) sastoji se od fiksnog broja skladišnih kolona (odjeljaka), mehanički povezanih s pogonskim mehanizmom u zatvorenoj petlji. Svaka kolona dodatno je podijeljena na fiksni broj skladišnih lokacija (polica). Odlaganje i izuzimanje je ručno ili automatsko. Okretanje karusela je u većini slučajeva automatizirano. Na Slici 31. prikazan je primjer sustava horizontalnih karusela.



Slika 30. Horizontalni karusel

Horizontalni karuseli postali su jedan od najpopularnijih uređaja za skladištenje i izuzimanje, posebno u distribucijskim okruženjima. Od njihova nastanka početkom 1960-ih do danas hardver je ostao relativno nepromjenjen, izuzev manjih poboljšanja i nadogradnji, međutim primjene i upravljanje veoma su se promijenili.

Benifiti primjene horizontalnih sustava u odnosu na druge, klasične izvedbe skladišta, su brojne.

Uštede vremena čine prvu glavnu skupinu benefita horizontalnih karusela. Pogonski sustav rotira karusel lijevo ili desno da bi operateru doveo traženi spremnik za izuzimanje. To što su artikli dovedeni operateru eliminira potrebu za hodanjem na koje je zaposlenik trošio dvije trećine svog radnog vremena. Uklanjanje potrebe za hodanjem značilo je veću produktivnost i potencijalno smanjenje sati rada. Operateri tako mogu obavljati i druge dužnosti, kao što su papirologija, vaganje i brojenje dok karusel dovodi tražene artikle. S obzirom da jedan operater može raditi s više karusela u isto vrijeme, moguće je i dodatno povećanje produktivnosti daljnjom eliminacijom gubitaka vremena.

Ušteda prostora : Činjenica da karusel ima pristup na kraju, a ne sa strane kao kod poličnih regala, čini slijedeću skupinu prednosti. Nekoliko karusela može biti poslagano jedan uz drugi, čime se uklanjaju prolazi i štedi na podnom prostoru. Visoki karuseli – 3 ili 3,5 metra – mogu biti korišteni s podiznim stolovima. Dodatno, moguće je horizontalni karusel postaviti jedan na drugi, te koristiti podest za operatera, čime se dobija još veća iskoristivost površine (zbog bolje iskoristivosti prostora po visini).

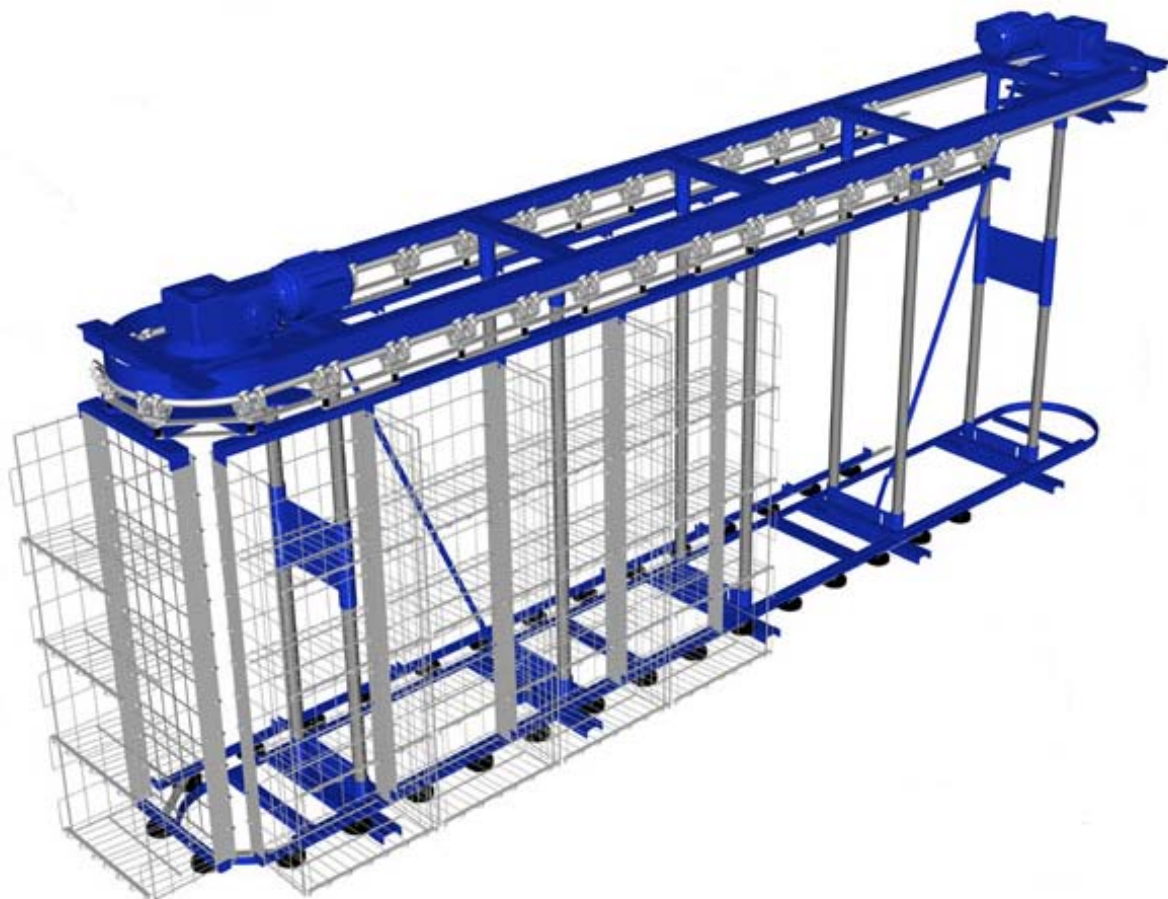
Prednosti računalnog upravljanja: Povećana produktivnost operatera, uštede prostora i manje zastoja bitne su prednosti, ali kod visokoprotočnih aplikacija javlja se problem zaustavljanja karusela radi izuzimanja. Čak ni kontrolni uređaji koji su u stanju pozivati više spremnika u nizu i odabrati najkraći put – lijevo ili desno – nisu mogli utjecati na vrijeme potrebno operateru da potraži broj stavke, njezinu lokaciju i unese te podatke preko tipkovnice. Prvi softver riješio je ove elementarne probleme. U računalu se nalazi datoteka za slanje ulaznog podatka o broju artikla na adresu tražene lokacije. Računalo tada može izdati upute karuselu direktno, a bročana tipkovnica nije potrebna. Danas se horizontalni karuseli tipično nalaze povezani u skupine od dva, tri ili četiri stroja koje kontrolira upravljačko računalo. Jedan operater radi sa jednom takvom skupinom. Ova vrsta karusela ima veću primjenu u distribuciji nego proizvodnji. Horizontalni karuseli su postali strojevi specijalizirani za izuzimanje, koji obično sadrže dovoljnu količinu stavki za seriju izuzimanja te se onda popunjuju iz glavnog skladišta.

Pogodnost izvedbe: Zbog sebi svojstvene mehaničke jednostavnosti, horizontalni karuseli su izuzetno pouzdani, trajni, tiho rade i zahtjevaju minimalno održavanje.

Ergonomija i nadzor: Karuseli također smanjuju umaranje operatera dosadu uzrokovanu hodanjem unutar skladišta u klasičnim izvedbama s poličnim regalima. Nadzornici imaju bolji pregled jer im zaposlenici više ne moraju na dulje vrijeme izlaziti iz vidokruga.

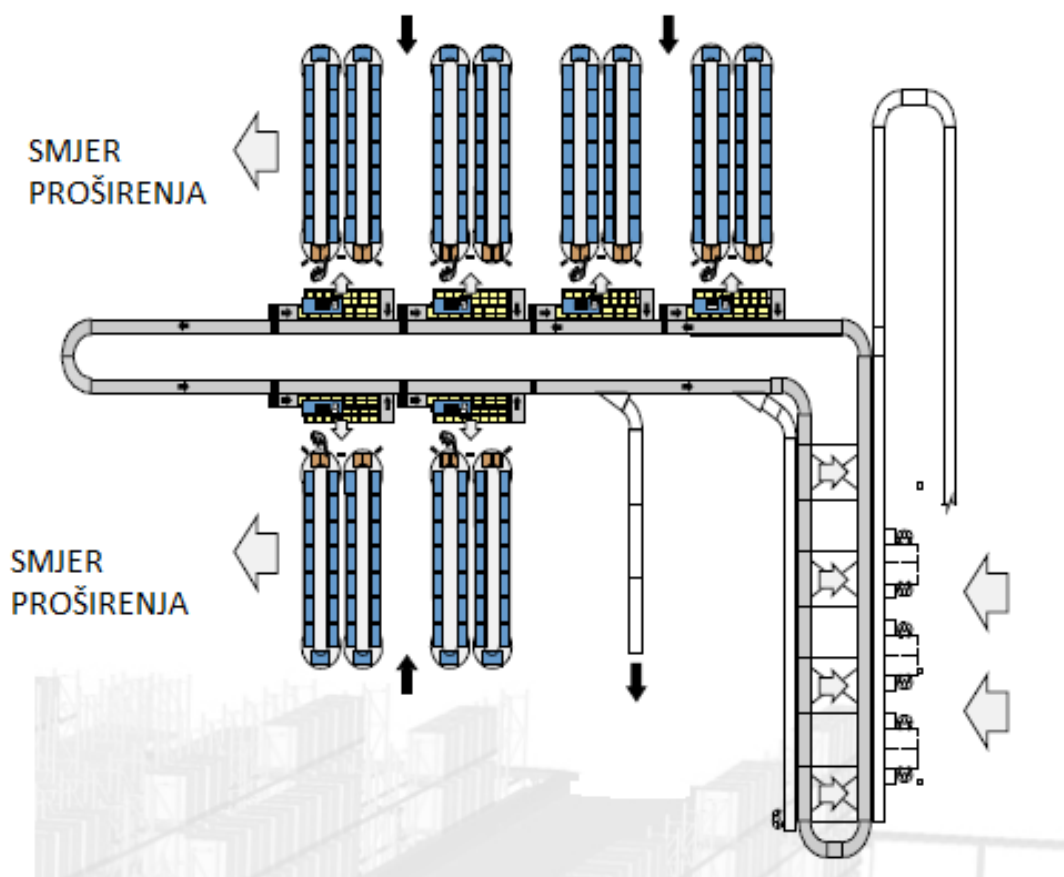
Primjer iz prakse :

Distributer odjevnog predmet ( kapa za glavu)“ *Hat world*“ je na svojoj sadašnjoj lokaciji (15000 m<sup>2</sup>) trebao novi način skladištenja za ispunjavanje zahtjeva (narudžbi). Rješenje je pronašlo poduzeće Daimond Phoenix. Oni su instalirali šest horizontalni podnih karusela s dodatnim put-to- light sistemom. Nakon instaliranja operater pakira 70000 kapa po danu za više od 850 trgovina. Jedan od šest instaliranih horizontalnih karusela predstavljen je na Slici 32.



Slika 31. Horizontalni karusel (Daimond Phoenix)

Prednosti uvođenja horizontalnih karusela su: povratak investicije za manje od tri godine, tijekom instalacije nije bilo ometanja ostalih dijelova poduzeća i povećana produktivnost (smanjena kretanja radnika). Tlocrt novog distribuciskog centra prikazan je na Slici 33.



Slika 32. Tlocrt izvedbe sustava komisioniranja i sortiranja s primjenom horizontalnih karusela (Hat World)

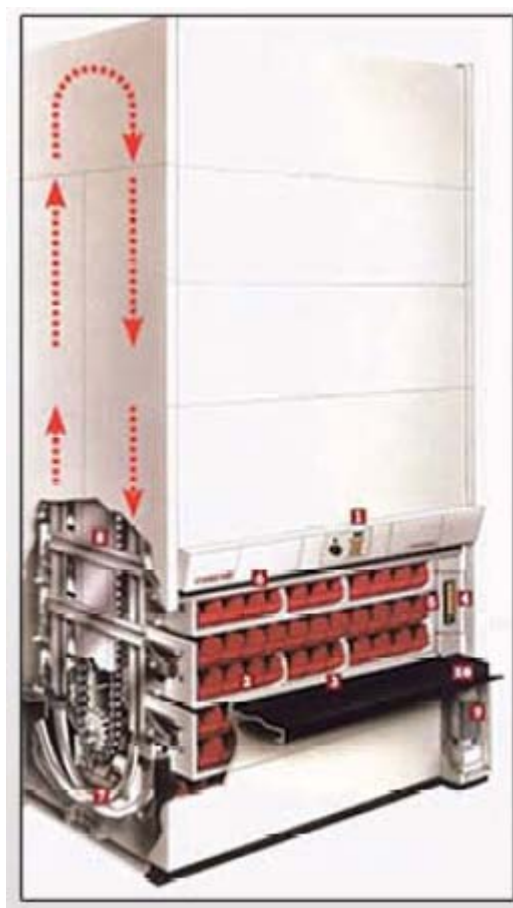
Rezultati dobiveni instalacijom šest horizontalnih karusela: povećanje protoka za 750%, točnost narudbi se povisio sa 99.5 % na 99.9%, nije bilo potrebno zapošljavati nove radnike, mogućnost lakog proširenja uslijed povećanja kapaciteta i fleksibilnost karusela omogućava smanjenje broja radnika van sezone (ljeti). [8.]

U navedenom primjeru iz prakse primjenju se sustavi horizontalnih karusela. Upotreba radnih centara karusela osigurava vrlo jednostavnu, ali bitnu prednost: dok operater uzima stavku s jednog karusela, drugi rotira na poziciju. Ovako operater može kontinuirano izuzimati, a vrijeme čekanja je skraćeno ili eliminirano. Softver logički razvrstava zahtjeve za izuzimanjem i identificira koja kolona sadržava koji proizvod. Također bilježi i gdje se nalazi karusel u svakom trenutku te odabire najkraću rutu za slijedeće izuzimanje.



## Vertikalni karuseli

Vertikalni karusel sastoji se od fiksnog broja polica koje u zatvorenoj petlji rotiraju u vertikalnoj ravni. Moguće je također automatsko odlaganje i izuzimanje, no rjeđe nego kod horizontalnih karusela. Na Slici 34. prikazan je vertikalni karusel sa označenim smjerovima rotacije.

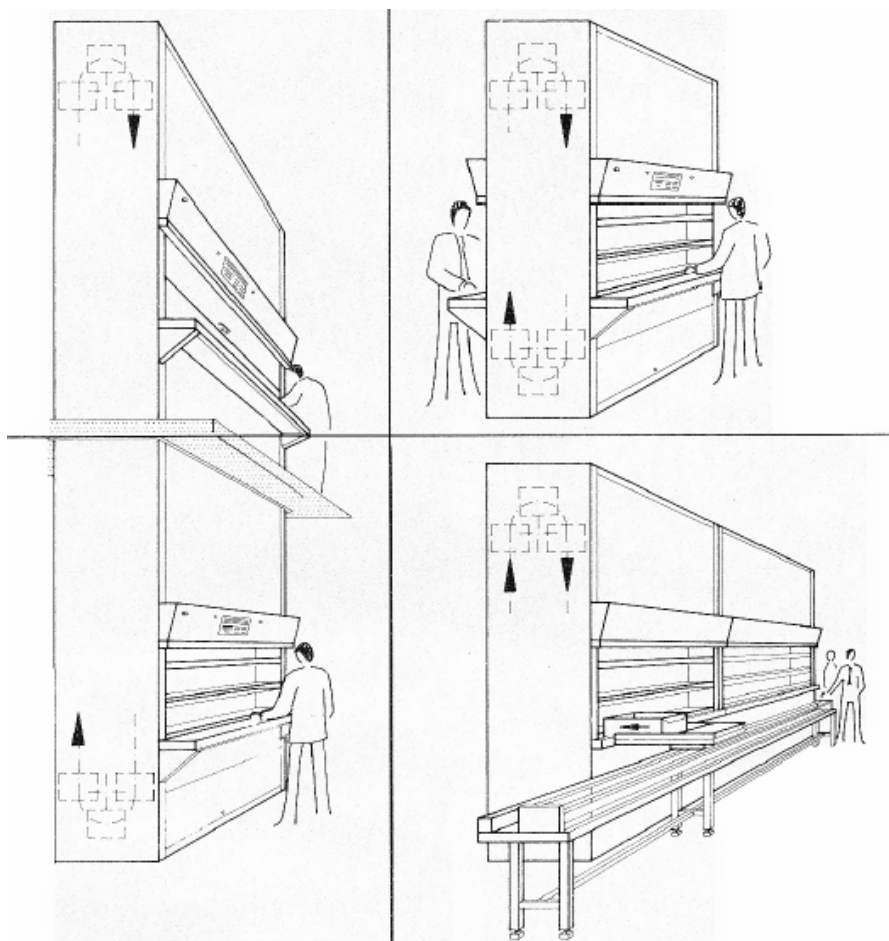


Slika 33. Vertikalni karusel

Vertikalni karuseli su u početku uvedeni radi smanjenja skladišnog prostora potrebnog za skladištenje robe u statičnim klasičnim policičnim sistemima. Čak i sa ograničenom raspoloživom visinom stropa vertikalni karuseli mogu iskoristiti inače neupotrebljiv zračni prostor. U tvorničkom okruženju obično je slobodna visina stropa značajna pa je moguće pohranjivanje velike količine robe na maloj površini. Pritiskom na prekidač, skladištenje stavke pomiču se na za to predviđeno mjesto koje je u visini operaterova struka. Ne taj način eliminiraju se nepotrebni pokreti i naganjanje operatera pri dohvatanju.

Stavke se dovode direktno do operatera što rezultira znatnim skraćenjem vremena traženja koje mu je ranije bilo potrebno. Velik broj investicija u sustave vertikalnih karusela opravdan je već samim smanjenjem vremena izuzimanja. Svaki vertikalni karusel može biti opskrbljivan kao potpuno zatvoren, šesterostrani ormar koji je čist i omogućava izuzetnu sigurnost za vrijedan sadržaj. Sigurnost se može povećati mehaničkim i elektroničkim metodama u slučaju da se želi ograničiti pristup određenim spremnicima karusela. Kako su sofisticirani kontrolni uređaji i softver postali standardne opcije kod dobavljača, mogućnosti upravljanja sadržajem su dodatni benefit ovih sustava.

Moguće je da vertikalni karuseli imaju više od jednog pristupnog prozora odnosno otvora za odlaganje i izuzimanje. U nekim slučajevima, korisno je imati visoki uređaj koji povezuje više katova, kao primjerice u objektima gdje se poslužuju mnogobrojni odjeli. Karuseli također mogu imati pristup i sprijeda i straga ako se koriste kao protočni skladišni uređaji, prikazano na Slici 35.



Slika 34. Verikalni karuseli s više prozora

## Vertikalni podizni moduli

Vertikalni podizni moduli (*Vertical Lift Module*) su skladišni sustavi koji se sastoje od dvije paralelene kolone s fiksnim policama, u kojima su uskladišteni spremnici (kutije ili ladice). Odlaganje i izuzimanje spremnika obavlja automatski uređaj (shuttle/extractor), koji se elevatorom kreće vertikalno između kolona s policama. Na Slici 36. prikazan je izgled vertikalnog podiznog modula.

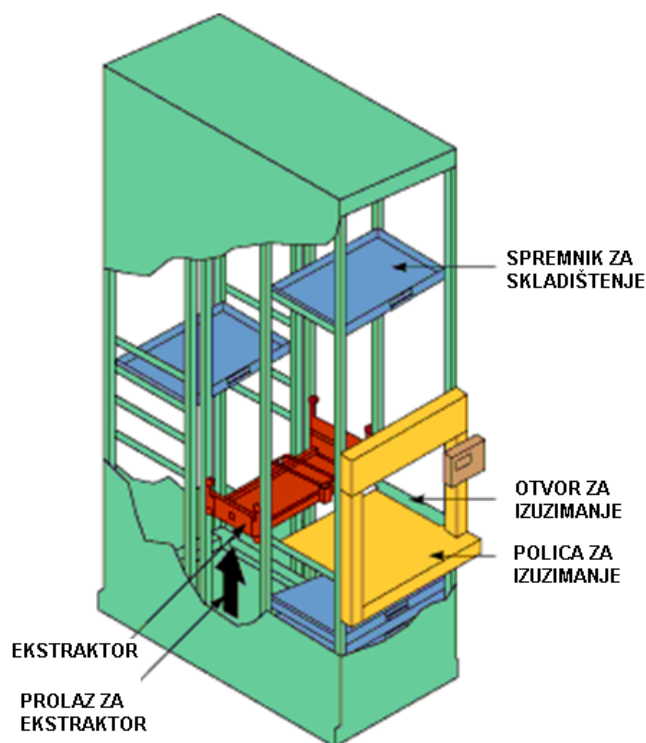


Slika 35. Vertikalni podizni modul (VLM)

Osnovne prednosti VLM-a su velika ušteda prostora (ovisno o raspoloživoj visini stropa VLM može ostvariti prostorne uštede od 50 % do 80 % u odnosu na klasične police), ergonomičnost, povećana brzina izuzimanja i sigurnost skladištenja.

Danas, VLM-i su dizajnirani da budu fleksibilni, pogodni kako za male i lagane dijelove, tako i za teške i velike sirovine, poluproizvode i gotove proizvode. Mogu se povezati sa sustavom za upravljanje skladištem preko kontrolnih sustava i računalnih softvera.

VLM se sastoji od tri osnovna, paralelna stupca. Prednji i stražnji stupac koriste se za skladištenje te su opremljeni držačima koji funkcioniraju kao police za spremnike. Središnjim stupcem kreće se elevator sa napravom za odlaganje i izuzimanje spremnika (inserter/ekstraktor). Slika 37.



Slika 36. VLM

#### Vertikalni podizni moduli– benefiti primjene

Ušteda skladišne površine: Većina hala konstruirana je s visokim stropom. VLM je brz i jednostavan način da se iskoristi inače neupotrebljiv prostor u visini, uslijed čega se smanjuje količina podnog prostora za skladištenje. Također, VLM-ova sposobnost pohranjivanja spremnika s robom uz samo 25 mm razmaka među spremnicima omogućava znatno veću gustoću nego klasični polični regali.

Povećana produktivnost postojećeg osoblja ili smanjenje broja radnika potrebnih za odlaganje i izuzimanje te njihova preorijentacija na druge poslove su tipični rezultati uvođenja VLM-a.

Ergonomičnost : S obzirom da se materijali odlažu/izuzimaju u visini struka, VLM osigurava manju mogućnost ozljeda zaposlenika pri radu. VLM eliminira potrebu opasnih radnji kao što

je penjanje po ljestvama. Većina kompanija pronalazi kratkoročne i dugoročne benefite u osiguranju boljih ergonomskih uvjeta jer se minimiziraju ozljede na radu, jednostavniji je trening privremeno zaposlenih, poboljšana je moral i manji je protok zaposlenika.

**Sigurnost :** Svaki VLM je potpuno zatvoren sa svih šest strana nudeći izuzetnu sigurnost i čisto skladištenje robe. Sigurnost se može poboljšati mehaničkim i elektroničkim metodama, uključujući lozinke koji ograničavaju pristup određenim skladišnim lokacijama ili VLM-u u potpunosti.

Većina proizvođača nudi i posebne dodatke za svoje uređaje. To uključuje razne dodatne kontrole, više razina softvera za upravljanje skladištenim sadržajem koji se može povezati sa WMS-om (warehouse management system – logistički sustav za upravljanje skladištem) poduzeća i ERP (enterprise resource planning – sustav upravljanja zalihama) sustavom. Ostale tehnologije koje mogu biti integrirane uključuju: čitači bar koda, “pick-to-light” sustavi, vitla i/ili vakumski podizači, sustav automatski vođenih vozila , sučelje konvejera robotsko sučelje i glasovno upravljanje .

Pretraživajući internet pronašao sam korisnu tablicu, u kojoj su sadržana imena bitnijih proizvođača AS/RS i koje proizvode oni nude. [9.] Tablica je prikazana na Slici 38.

AS/RS manufacturers: Who makes what						
Company	Web site	Unit-load AS/RS	Mini-load AS/RS	Horizontal carousels	Vertical carousels	VLMs
AFT, Inc.	asrs.net	✓	✓			
Daifuku	daifukuamerica.com	✓	✓			
Dematic	dematic.com	✓	✓			
Diamond Phoenix	diamondphoenix.com	✓	✓	✓	✓	✓
FKI Logistex	fkilogistex.com	✓	✓	✓	✓	
HK Systems	hksystems.com	✓	✓			
Hanel Storage Systems	hanel.us				✓	✓
Jervis B. Webb Co.	jervisbwebb.com	✓	✓			
Kardex Systems	kardex.com				✓	✓
Knapp Logistics & Automation	knapp.com		✓			
Lauyans and Co.	lauyans.com			✓	✓	✓
Mecalux	mecalux.com	✓	✓			
Murata Machinery	muratec-usa.com	✓	✓			
Remstar	remstar.com			✓	✓	✓
Schaefer Systems International	ssi-schaefer.us	✓	✓			
System Storage Solutions	system-group.it	✓	✓			✓
TGW-Ermanno	tgw-ermanno.com	✓	✓			
ViaStore Systems	viastore.com	✓	✓			
Westfalia Technologies	westfalia-net.com	✓	✓			
White Systems	whitesystems.com			✓	✓	✓
Witron	witron.com	✓	✓			

Slika 37. AS/RS proizvođači

## 5. MODELI OBLIKOVANJA PERSON-ON-BOARD SUSTAVA

Tipičan sustav iz grupe sustava komisioniranja po principu “čovjek robi” .

Person-on- board pretpostavke: S/R dizalica automatski stane ispred skladišne lokacije , ručno izuzimanje robe, nekoliko izuzimanja po ciklusu → višestruki radni ciklus MC, početak i kraj ciklusa na P/D stanici (najčešće).

PROTOK SUSTAVA (broj izuzimanja/h) ovisi o očekivanom vremenu ciklusa E(MC).

Vrijeme ciklusa ovisi o: brzini dizalice (vrtikalne i horizontalne brzine), veličini regala, obliku regala, vremenu izuzimanja na lokaciji, vremenu pražnjenja na P/D stanici i redoslijedu posjećivanja lokacija → TSP (Travelling Salesman Problem – TSP )

Problem putujućeg putnika (Travelling Salesman Problem – TSP) zadan je pričom: Jedan prodavač mora obići sve gradove koji su mu zadani, no u svaki grad smije ući samo jednom, nakon što je obišao sve gradove vraća se u početni grad. Kojim putem, odnosno redoslijedom je najbolje obilaziti gradove kako bi ukupni pređeni put bio najkraći? Ukoliko sa  $n$  označimo

broj gradova u problemu, složenost problema je  $\frac{1}{2}(n-1)!$  . Matematički zapisano traži se minimum sume svih dijelova puta .

$$MIN(d_{1,3} + d_{3,3} + d_{3,4} + \dots) = MIN \left[ \sum_{i=1}^{n-1} d_{1,i+1} + d_{n3} \right]$$

Problem redoslijeda posjećivanja lokacije (Person-on –board) isti je kao problem putujućeg trgovca samo što se trgovac koji posjećuje gradove giba horizontalno (  $x$  i  $y$  kordinatama) dok se S/R dizalica giba po  $z$  i  $y$  kordinatama.(vertikalnoj plohi-gibanje po uspravnom regalu).

Problem određivanja vremena vožnje po jednom ciklusu, ostale komponente vremena ciklusa relativno je jednostavno odrediti/procjeniti.

Redoslijed posjećivanja lokacija se može napraviti na više načina. U nastavku sam obradio slučajve posjećivanja po optimalnom redoslijedu i posjećivanje primjenom Band huristike.

## Optimalni redoslijed posjećivanja lokacija

Uz pretpostavku posjećivanja lokacija najkraćim putem, primjenom optimalnog algoritma, autor Bozer je 1985. godine empirijski odredio i predložio model za određivanje vremena vožnje u višestrukom ciklusu:

$$E(t) \approx T \left[ \frac{2n}{(n+1)} + 0.114703 \cdot n \cdot \sqrt{Q} - 0.074257 - 0.041603 \cdot n + 0.459298 \cdot Q^2 \right]$$

$3 \leq n \leq 16$  broj lokacija s kojih se izuzimaju dijelova

$T$  faktor mjere (skalarni faktor)

$Q$  faktor oblika regala

Pretpostavke su: slučajni raspored odlaganja, regal je pretpostavljen kao kontinuirana površina (autori), ubrzanja i usporenja su zanemareni, P/D stanica u donjem kutu regala. Redoslijed posjećivanja lokacija je optimalan tj. najmanji put koji dizalica mora proći je postignut, jedini problem koji se pojavljuje moguće preveliko vrijeme računanja upravljačkog računalna koje šalje S/R dizalicu na potrebne lokacije.

## Band heuristika

Osim optimalnog algoritma, za određivanje redoslijeda posjećivanja lokacija mogu se koristiti i heurističke metode. Jedna od njih (prema literaturi najčešće korištena kod person-on-board AS/RS sustava) je tzv. band heuristika, ili heuristika traka. Regal je podjeljen u  $k$  parni broj jednakih horizontalnih traka. Broj traka ovisi o veličini narudžbi. U tablici je perstavljen optimalni broj traka za zadani  $n$  – prosječan broj stavki (lokacija koje treba posjetiti) po narudžbi.

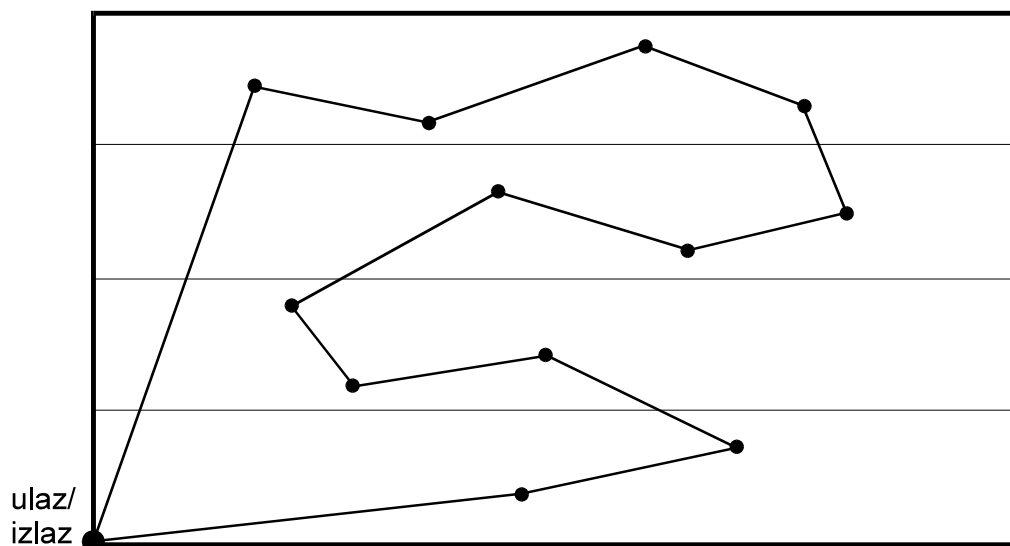
**Optimalni broj traka (za zadani  $n$ )**

Broj izuzimanja $n$	Broj traka $k$
1 – 24	2
25 – 72	4
73 – 145	6
146 - 242	8

TABLICA 2. Optimalni broj traka za zadani  $n$

Gibanje S/R dizalice napravljeno je tako da dizalica počinje posjećivati lokacije u gornjoj traci, te prikupi sve lokacije u toj traci i tek onda se spušta u nižu traku, i tako sve do najniže trake (do posljednje lokacije).

Na slici 39. prikazan je regal sa slučajno odabranim lokacijama i s 4 horizontalne trake.



Slika 38. Band heuristika

Već spomenuti autor Bozer također je predložio model za aproksimaciju vremena vožnje u višestrukom ciklusu ukoliko je redoslijed izuzimanja po “band” heuristici), dan sljedećim izrazima:

$$E(k, n, T, Q) = T \left[ 2kA + kB(n-1) + \frac{k-1}{k} Q \right]$$

$k$  – broj traka

$$A = \frac{C}{2} + \frac{1 - (1-C)^{n+2}}{C(n+1)(n+2)}$$

$$B = \frac{C}{3} + \frac{2nC + 6C - 2 + 2(1-C)^{n+3}}{C^2(n+1)(n+2)(n+3)}$$

$$C = \frac{Q}{k^2}$$

Prema izvornom autoru, ovi izrazi dobar aproksimiraju vrijeme vožnje za veličinu narudžbi  $n$  u rasponu  $3 < n < 24$ .



## 6. ANALIZA I USPOREDBA METODA ODREĐIVANJA KRETANJA DIZALICE

Za usporedbu i analizu optimalnog računanja posjećivanja lokacija i bend heuristike riješiti ćemo primjer s različitim brojem narudžbi-  $n = 4, 8, 12, 16$ . U točki 6.1 po optimalnom redoslijedu posjećivanja a u točki 6.2 primjenom bend heuristike.

Zadatak : U regaldu dužine 80 m i visine 20 m, pomoću S/R dizalice brzine 1 m/s horizontalno i 0,2 m/s vertikalno, komisioniraju se dijelovi. Prosječan broj lokacija s kojih se prikupljaju dijelovi iznosi 4, 8, 12, 16. Prosječno vrijeme izuzimanja po lokaciji iznosi 15 s, dok vrijeme potrebno za pražnjenje komisionera na P/D stanici i pripremu za novi ciklus iznosi 1,2 minute.

### 6.1 Redoslijed posjećivanja po optimalnom rasporedu

Odredite koliko iznosi protok sustava (broj prikupljenih dijelova u satu) uz pretpostavku da se lokacije posjećuju po optimalnom rasporedu.

#### Broj lokacija prikupljanja dijelova , $n = 4$

Faktor mjere

$$T = \max \left\{ \frac{L}{v_x}, \frac{H}{v_y} \right\} = \max \left\{ \frac{80}{1}, \frac{20}{0.2} \right\} = 80s = 1.34 \text{ min}$$

Faktor oblika

$$Q = \min \left\{ \frac{L}{v_x \cdot T}, \frac{H}{v_y \cdot T} \right\} = \min \left\{ \frac{80}{1 \cdot 80}, \frac{20}{0.2 \cdot 80} \right\} = 1$$

Očekivano vrijeme vožnje komisioniranja

$$E(t) \approx T \left[ \frac{2n}{(n+1)} + 0.114703 \cdot n \cdot \sqrt{Q} - 0.074257 - 0.041603 \cdot n + 0.459298 \cdot Q^2 \right]$$

$$E(t) \approx 1.34 \left[ \frac{2 \cdot 4}{(4+1)} + 0.114703 \cdot 4 \cdot \sqrt{1} - 0.074257 - 0.041603 \cdot 4 + 0.459298 \cdot 1^2 \right] = 3.05 \text{ min}$$

Prosječno vrijeme ciklusa je

$$T_c = E(t) + n \cdot t_{izuz} + t_{P/D} = 3.05 + 4 \cdot \frac{20}{60} + 1.2 = 5.58 \text{ min}$$

Broj ciklusa u satu

$$n_c = \frac{60}{5.58} \cdot \frac{\text{min/h}}{\text{min/ciklus}} = 10.75 \text{ ciklusa/h}$$

Protok iznosi  $q=43$  izuzimanja/h. Ovisno o prosječnom broju izuzetih dijelova po lokaciji odredi se protok u dijelovima/h.

### **Broj lokacija prikupljanja dijelova , n = 8**

Faktor mjere

$$T = \max \left\{ \frac{L}{v_x}, \frac{H}{v_y} \right\} = \max \left\{ \frac{80}{1}, \frac{20}{0.2} \right\} = 80 \text{ s} = 1.34 \text{ min}$$

Faktor oblika

$$Q = \min \left\{ \frac{L}{v_x \cdot T}, \frac{H}{v_y \cdot T} \right\} = \min \left\{ \frac{80}{1 \cdot 80}, \frac{20}{0.2 \cdot 80} \right\} = 1$$

Očekivano vrijeme vožnje komisioniranja

$$E(t) \approx T \left[ \frac{2n}{(n+1)} + 0.114703 \cdot n \cdot \sqrt{Q} - 0.074257 - 0.041603 \cdot n + 0.459298 \cdot Q^2 \right]$$

$$E(t) \approx 1.34 \left[ \frac{2 \cdot 8}{(8+1)} + 0.114703 \cdot 8 \cdot \sqrt{1} - 0.074257 - 0.041603 \cdot 8 + 0.459298 \cdot 1^2 \right] = 3.68 \text{ min}$$

Prosječno vrijeme ciklusa je

$$T_c = E(t) + n \cdot t_{izuz} + t_{P/D} = 3.68 + 8 \cdot \frac{20}{60} + 1.2 = 7.54 \text{ min}$$

Broj ciklusa u satu

$$n_c = \frac{60}{7.55} \cdot \frac{\text{min/h}}{\text{min/ciklus}} = 7.95 \text{ ciklusa/h}$$

Protok iznosi  $q=63.6$  izuzimanja/h. Ovisno o prosječnom broju izuzetih dijelova po lokaciji odredi se protok u dijelovima/h.

**Broj lokacija prikupljanja dijelova ,  $n = 12$**

Faktor mjere

$$T = \max \left\{ \frac{L}{v_x}, \frac{H}{v_y} \right\} = \max \left\{ \frac{80}{1}, \frac{20}{0.2} \right\} = 80s = 1.34 \text{ min}$$

Faktor oblika

$$Q = \min \left\{ \frac{L}{v_x \cdot T}, \frac{H}{v_y \cdot T} \right\} = \min \left\{ \frac{80}{1 \cdot 80}, \frac{20}{0.2 \cdot 80} \right\} = 1$$

Očekivano vrijeme vožnje komisioniranja

$$E(t) \approx T \left[ \frac{2n}{(n+1)} + 0.114703 \cdot n \cdot \sqrt{Q} - 0.074257 - 0.041603 \cdot n + 0.459298 \cdot Q^2 \right]$$

$$E(t) \approx 1.34 \left[ \frac{2 \cdot 12}{(12+1)} + 0.114703 \cdot 12 \cdot \sqrt{1} - 0.074257 - 0.041603 \cdot 12 + 0.459298 \cdot 1^2 \right] = 4.17 \text{ min}$$

Prosječno vrijeme ciklusa je

$$T_c = E(t) + n \cdot t_{izuz} + t_{P/D} = 4.17 + 12 \cdot \frac{20}{60} + 1.2 = 9.37 \text{ min}$$

Broj ciklusa u satu

$$n_c = \frac{60}{9.37} \cdot \frac{\text{min}/h}{\text{min}/\text{ciklus}} = 6.40 \text{ciklusa} / h$$

Protok iznosi  $q=76.8$  izuzimanja/h. Ovisno o prosječnom broju izuzetih dijelova po lokaciji odredi se protok u dijelovima/h.

### Broj lokacija prikupljanja dijelova , $n = 16$

Faktor mjere

$$T = \max \left\{ \frac{L}{v_x}, \frac{H}{v_y} \right\} = \max \left\{ \frac{80}{1}, \frac{20}{0.2} \right\} = 80s = 1.34 \text{ min}$$

Faktor oblika

$$Q = \min \left\{ \frac{L}{v_x \cdot T}, \frac{H}{v_y \cdot T} \right\} = \min \left\{ \frac{80}{1 \cdot 80}, \frac{20}{0.2 \cdot 80} \right\} = 1$$

Očekivano vrijeme vožnje komisioniranja

$$E(t) \approx T \left[ \frac{2n}{(n+1)} + 0.114703 \cdot n \cdot \sqrt{Q} - 0.074257 - 0.041603 \cdot n + 0.459298 \cdot Q^2 \right]$$

$$E(t) \approx 1.34 \left[ \frac{2 \cdot 16}{(16+1)} + 0.114703 \cdot 16 \cdot \sqrt{1} - 0.074257 - 0.041603 \cdot 16 + 0.459298 \cdot 1^2 \right] = 4.60 \text{ min}$$

Prosječno vrijeme ciklusa je

$$T_c = E(t) + n \cdot t_{\text{izuz}} + t_{P/D} = 4.06 + 16 \cdot \frac{20}{60} + 1.2 = 10.59 \text{ min}$$

Broj ciklusa u satu

$$n_c = \frac{60}{10.59} \cdot \frac{\text{min}/h}{\text{min}/\text{ciklus}} = 5.66 \text{ciklusa} / h$$

Protok iznosi  $q=90.65$  izuzimanja/h. Ovisno o prosječnom broju izuzetih dijelova po lokaciji odredi se protok u dijelovima/h.

## 6.2 Redoslijed posjećivanja primjenom bend heuristike

Za usporedbu vremena riješiti ćemo prijašnji zadatak koristeći se bend heuristikom.

**Broj lokacija prikupljanja dijelova ,  $n = 4$**

Faktor mjere

$$T = \max \left\{ \frac{L}{v_x}, \frac{H}{v_y} \right\} = \max \left\{ \frac{80}{1}, \frac{20}{0.2} \right\} = 80s = 1.34 \text{ min}$$

Faktor oblika

$$Q = \min \left\{ \frac{L}{v_x \cdot T}, \frac{H}{v_y \cdot T} \right\} = \min \left\{ \frac{80}{1 \cdot 80}, \frac{20}{0.2 \cdot 80} \right\} = 1$$

$$A = \frac{C}{2} + \frac{1 - (1 - C)^{n+2}}{C(n+1)(n+2)} = \frac{0.25}{2} + \frac{1 - (1 - 0.25)^6}{0.25 \cdot 5 \cdot 6} = 0.193$$

$$B = \frac{C}{3} + \frac{2nC + 6C - 2 + 2(1 - C)^{n+3}}{C^2(n+1)(n+2)(n+3)} = \frac{0.25}{3} + \frac{2 \cdot 4 \cdot 0.25 + 6 \cdot 0.25 - 2 + 2(1 - 0.25)^7}{0.25^2 \cdot 5 \cdot 6 \cdot 7} = 0.218$$

$$C = \frac{Q}{k^2} = \frac{1}{4} = 0.25$$

$$E(k, n, T, Q) = T \left[ 2kA + kB(n-1) + \frac{k-1}{k} Q \right] = 1.34 \left[ 2 \cdot 2 \cdot 0.193 + 2 \cdot 0.218(4-1) + \frac{1}{2} \cdot 1 \right] = 3.92 \text{ min}$$

Broj ciklusa na sat

$$n_c = \frac{60}{6.45} \cdot \frac{\text{min/h}}{\text{min/ciklus}} = 9.3 \text{ ciklusa/h}$$

$$T_c = E(k, n, T, Q) + n \cdot t_{\text{izuz}} + t_{P/D} = 3.92 + 4 \cdot \frac{20}{60} + 1.2 = 6.45 \text{ min}$$

Protok iznosi  $q=37.2$  izuzimanja/h.

**Broj lokacija prikupljanja dijelova ,  $n = 8$**

Faktor mjere

$$T = \max \left\{ \frac{L}{v_x}, \frac{H}{v_y} \right\} = \max \left\{ \frac{80}{1}, \frac{20}{0.2} \right\} = 80s = 1.34 \text{ min}$$

Faktor oblika

$$Q = \min \left\{ \frac{L}{v_x \cdot T}, \frac{H}{v_y \cdot T} \right\} = \min \left\{ \frac{80}{1 \cdot 80}, \frac{20}{0.2 \cdot 80} \right\} = 1$$

$$A = \frac{C}{2} + \frac{1 - (1 - C)^{n+2}}{C(n+1)(n+2)} = \frac{0.25}{2} + \frac{1 - (1 - 0.25)^8}{0.25 \cdot 9 \cdot 10} = 0.165$$

$$B = \frac{C}{3} + \frac{2nC + 6C - 2 + 2(1 - C)^{n+3}}{C^2(n+1)(n+2)(n+3)} = \frac{0.25}{3} + \frac{2 \cdot 8 \cdot 0.25 + 6 \cdot 0.25 - 2 + 2(1 - 0.25)^{11}}{0.25^2 \cdot 9 \cdot 10 \cdot 11} = 0.142$$

$$C = \frac{Q}{k^2} = \frac{1}{4} = 0.25$$

$$E(k, n, T, Q) = T \left[ 2kA + kB(n-1) + \frac{k-1}{k} Q \right] = 1.34 \left[ 2 \cdot 2 \cdot 0.165 + 2 \cdot 0.142(8-1) + \frac{1}{2} \cdot 1 \right] = 4.21 \text{ min}$$

$$T_c = E(k, n, T, Q) + n \cdot t_{izuz} + t_{P/D} = 4.21 + 8 \cdot \frac{20}{60} + 1.2 = 8.07 \text{ min}$$

Broj ciklusa na sat

$$n_c = \frac{60}{8.07} \cdot \frac{\text{min/h}}{\text{min/ciklus}} = 7.45 \text{ ciklusa/h}$$

Protok iznosi  $q=59.6$  izuzimanja/h.

**Broj lokacija prikupljanja dijelova ,  $n = 12$**

Faktor mjere

$$T = \max \left\{ \frac{L}{v_x}, \frac{H}{v_y} \right\} = \max \left\{ \frac{80}{1}, \frac{20}{0.2} \right\} = 80s = 1.34 \text{ min}$$

Faktor oblika

$$Q = \min \left\{ \frac{L}{v_x \cdot T}, \frac{H}{v_y \cdot T} \right\} = \min \left\{ \frac{80}{1 \cdot 80}, \frac{20}{0.2 \cdot 80} \right\} = 1$$

$$A = \frac{C}{2} + \frac{1 - (1 - C)^{n+2}}{C(n+1)(n+2)} = \frac{0.25}{2} + \frac{1 - (1 - 0.25)^{14}}{0.25 \cdot 13 \cdot 14} = 0.147$$

$$B = \frac{C}{3} + \frac{2nC + 6C - 2 + 2(1 - C)^{n+3}}{C^2(n+1)(n+2)(n+3)} = \frac{0.25}{3} + \frac{2 \cdot 12 \cdot 0.25 + 6 \cdot 0.25 - 2 + 2(1 - 0.25)^{15}}{0.25^2 \cdot 13 \cdot 14 \cdot 15} = 0.115$$

$$C = \frac{Q}{k^2} = \frac{1}{4} = 0.25$$

$$E(k, n, T, Q) = T \left[ 2kA + kB(n-1) + \frac{k-1}{k} Q \right] = 1.34 \left[ 2 \cdot 2 \cdot 0.147 + 2 \cdot 0.115(12-1) + \frac{1}{2} \cdot 1 \right] = 4.85 \text{ min}$$

$$T_c = E(k, n, T, Q) + n \cdot t_{\text{izuz}} + t_{P/D} = 4.85 + 12 \cdot \frac{20}{60} + 1.2 = 10.05 \text{ min}$$

Broj ciklusa na sat

$$n_c = \frac{60}{10.05} \cdot \frac{\text{min/h}}{\text{min/ciklus}} = 5.97 \text{ ciklusa/h}$$

Protok iznosi  $q=71.64$  izuzimanja/h.



### Broj lokacija prikupljanja dijelova , n = 16

Faktor mjere

$$T = \max \left\{ \frac{L}{v_x}, \frac{H}{v_y} \right\} = \max \left\{ \frac{80}{1}, \frac{20}{0.2} \right\} = 80s = 1.34 \text{ min}$$

Faktor oblika

$$Q = \min \left\{ \frac{L}{v_x \cdot T}, \frac{H}{v_y \cdot T} \right\} = \min \left\{ \frac{80}{1 \cdot 80}, \frac{20}{0.2 \cdot 80} \right\} = 1$$

$$A = \frac{C}{2} + \frac{1 - (1 - C)^{n+2}}{C(n+1)(n+2)} = \frac{0.25}{2} + \frac{1 - (1 - 0.25)^{18}}{0.25 \cdot 17 \cdot 18} = 0.138$$

$$B = \frac{C}{3} + \frac{2nC + 6C - 2 + 2(1 - C)^{n+3}}{C^2(n+1)(n+2)(n+3)} = \frac{0.25}{3} + \frac{2 \cdot 16 \cdot 0.25 + 6 \cdot 0.25 - 2 + 2(1 - 0.25)^{19}}{0.25^2 \cdot 17 \cdot 18 \cdot 19} = 0.104$$

$$C = \frac{Q}{k^2} = \frac{1}{4} = 0.25$$

$$E(k, n, T, Q) = T \left[ 2kA + kB(n-1) + \frac{k-1}{k} Q \right] = 1.34 \left[ 2 \cdot 2 \cdot 0.138 + 2 \cdot 0.104(16-1) + \frac{1}{2} \cdot 1 \right] = 5.59 \text{ min}$$

$$T_c = E(k, n, T, Q) + n \cdot t_{izuz} + t_{P/D} = 5.59 + 16 \cdot \frac{20}{60} + 1.2 = 12.12 \text{ min}$$

Broj ciklusa na sat

$$n_c = \frac{60}{12.12} \cdot \frac{\text{min}/h}{\text{min}/\text{ciklus}} = 4.95 \text{ ciklusa}/h$$

Protok iznosi q=79.2 izuzimanja/h.

### 6.3 Usporedba i analiza dobivenih rezultata

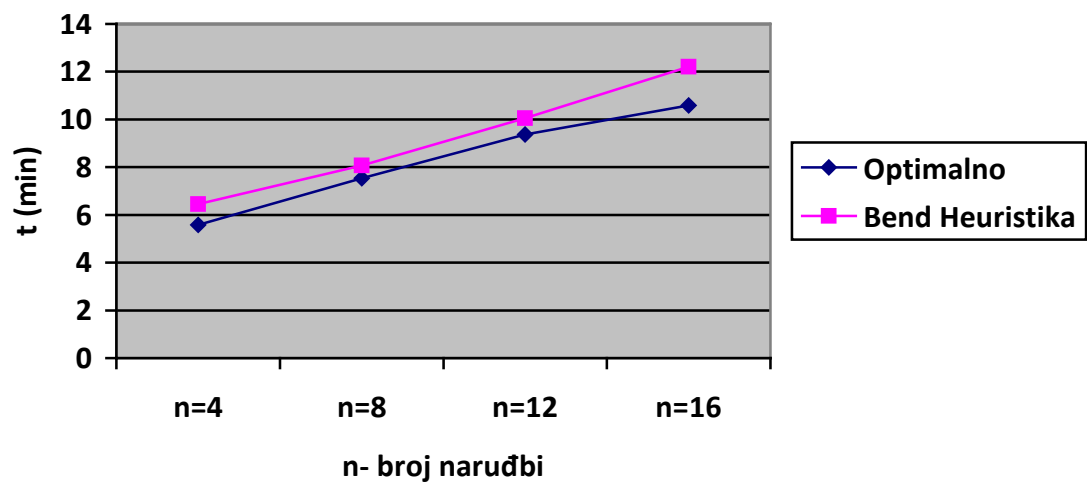
Rezultati dobiveni rješavanjem praktičnog zadatka prikazana su u tablici 3.

TABLICA 3. Rezultati – vremena vožnje ovisno o primjenjenom modelu (optimalno i bend heuristika)

	Tc Optimalno (min)	Tc Bend Heuristika (min)	$\Delta Tc$ (%)	q Optimalno (izuz./h)	q Bend Heuristika (izuz./h)	$\Delta q$ (%)
<b>n=4</b>	5.58	6.45	16%	43	37.2	15%
<b>n=8</b>	7.54	8.07	7%	63.6	59.6	6%
<b>n=12</b>	9.37	10.05	7%	76.8	71.64	7%
<b>n= 16</b>	10.59	12.12	15%	90.65	79.2	14%

Daje se zaključiti iz dobivenih rezultata da postoji značajna razlika između optimalnog redoslijeda posjećivanja i redoslijeda posjećivanja primjenom bend heuristike. Napretkom računalnih tehnologija koja nam omogućava brze izračune optimalnog puta redoslijeda posjećivanja u potpunosti izbacuje korištenje bend heuristike.

Ako smo u nemogućnosti koristiti optimalni redoslijed posjećivanja lokacija zbog praktičnih ograničenja već koristiti bend heuristiku; za najbolje rezultate spajati narudžbe da njihov broj bude od 8 do 12. Grafički izgled rezultata prikazan je na Slici 39.



Slika 39. Grafički prikaz rezultata

## 7. ZAKLJUČAK

Radeći završni rad upotunio sam svoje znaje iz tehničke logistike. Skupio sam i prestavio različite proizvođače Automated Storage and Retrieval System (AS / RS) te za svaki primjer iz prakse odabrao drugačijeg proizvođača. Upoznao sam se sa različitim izvedbama automatiziranih skladišnih sustava (AS / RS) - sustave s dizalicama unutar prolaza (Unit-load, Mini-load, Micro-load i Person-on-board), te dinamičke sustave skladištenja (vertikalni karuseli, horizontalni karuseli i vertikalni podizni moduli).

Zbog nedostaka pisanih i internet materijala nisam bio u mogućnosti prikazati izvedbe Person-on-board (AS / RS) sustava sa više različitih primjera rješenja. Osim samih prikaza i opisa, za poznavanje rada ovih sustava nužno je i poznavanje modela i metoda koji se koriste u oblikovanju, te su isti predstavljeni na kraju rada. Pri tome se provela jedna kraća analiza i usporedba metoda usmjeravanja dizalice, s ciljem uvida u razlike između optimalnog redoslijeda posjećivanja lokacije i redoslijeda posjećivanja lokacija primjenom band heuristike, te došao do određenih spoznaja.

## 8. LITERATURA

- [1.] <http://logistics.about.com/od/supplychainintroduction/a/strategy.htm> , 15.12.2009.
- [2.] Č. Oluić : Skladištenje u industriji, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb 1997.
- [3.] [www.jervisbwebb.com](http://www.jervisbwebb.com) , 20.12.2009.
- [4.] <http://www.tgw-mechanics.com/index.php?id=560&L=0> , 21.12.2009.
- [5.] <http://pdf.directindustry.com> , 21.12.2009.
- [6.] <http://www.daifukuamerica.com/downloads/casestudy.php?id=21> 22.12.2009.
- [7.] <http://www.viastore.com> , 3.1.2010.
- [8.] <http://www.industore.co.uk/case-studies/i/9/> 5.1.2010.
- [9.] <http://www.mmh.com/> 10.1.2010.